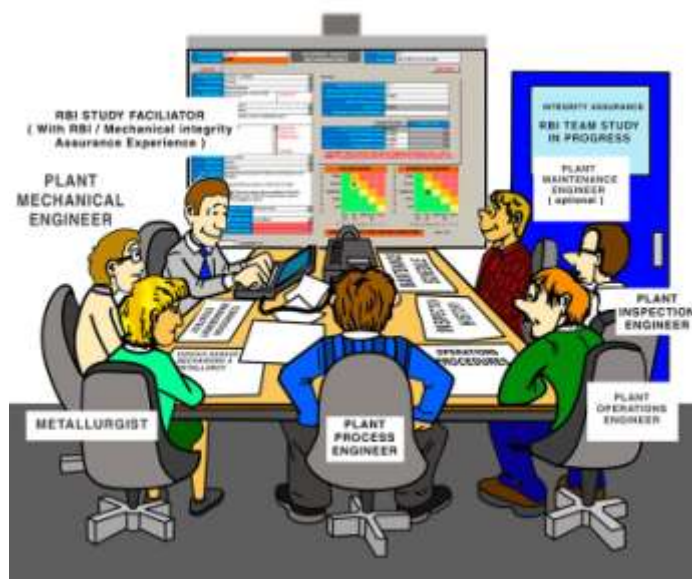
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

RBIM – Inspecção e Manutenção Baseada no Risco

JOAQUIM JOSÉ CABRAL BRIGAS

Transição Licenciatura Pré-Bolonha de Engenharia Mecânica para
Mestrado Engenharia Mecânica Perfil Manutenção e Produção
(Capitão FAP)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Engenheiro (Químico) Eduardo Manuel Dias Lopes
Equiparado a Professor Adjunto

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogais: Professor Doutor Yordan Ivanov Garbatov
Professor Doutor José António Rocha Soares

Dezembro 2008

Agradecimentos

"*A gratidão é a memória do coração*."
Antístenes

Os meus profundos agradecimentos a todos que, directa ou indirectamente, proporcionaram a realização desta dissertação.

Às minhas filhas, Teresa e Leonor, e à minha esposa, Minita, pela compreensão e apoio ao longo destes anos que se viram privadas da atenção de que merecem.

Ao meu orientador, Eng. Eduardo Dias Lopes, pelo apoio, orientação e disponibilidade, bem como à transmissão do seu conhecimento.

Ao Eng. Américo Carvalho pelo apoio que sempre disponibilizou sem colocar entraves.

Ao Operador Fonseca pela disponibilidade

Ao tio Augusto, D. Carma, Bia, Zé, Isabel e Rogério.

Aos meus camaradas e amigos, especialmente à TEN Sandra Ribeiro.

Ao ISEL e seus docentes pela oportunidade que me proporcionou aumentar o conhecimento das "coisas" e vê-las por outro prisma.

Obrigado.

Resumo

Esta dissertação aborda uma das metodologias mais recentes na área da Manutenção e Inspecção, a RBIM. Esta metodologia centra-se no risco que uma determinada instalação ou componente representa para a Saúde, a Segurança, o Ambiente e os seus custos.

Efectua-se um resumo histórico da Manutenção desde o início do século XX, resumindo-se as metodologias de manutenção mais importantes.

A metodologia RBIM analisa o risco tendo em consideração a probabilidade de falha e as consequências de falha, que são combinadas numa matriz, designada matriz de risco.

A probabilidade de falha (PoF) é a frequência da ocorrência de um determinado acontecimento por ano, que pode ser avaliada qualitativamente ou quantitativamente, apresentando-se um quadro com quatro abordagens de avaliação da PoF.

A consequência de falha (CoF) é o resultado de um acontecimento ou ocorrência. As consequências podem afectar a Saúde, a Segurança, o Ambiente e a Economia. A CoF, para cada um dos sectores, pode ser, à imagem da PoF, avaliada qualitativamente ou qualitativamente.

Uma avaliação de risco pode ser efectuada de três abordagens diferentes, qualitativa, semi-qualitativa e quantitativa, conforme o nível de precisão desejado. Independentemente do nível de precisão, uma avaliação RBIM deve seguir um procedimento estabelecido. O projecto RIMAP apresenta um procedimento onde constam a análise preliminar, recolha e validação de dados, análise de risco multicritério, decisão e plano de acção, a implementação e a avaliação da eficiência.

A metodologia RBIM tem muitos dos conceitos constantes na metodologia RCM, como a FMECA e árvore de falhas. As duas fazem uso de diagramas lógicos para a identificação de falhas, e implicam a necessidade de existir uma equipa multidisciplinar para avaliação.

Para se dar uma ideia mais clara da aplicação da metodologia RBIM, descreve-se uma instalação pertencente à FAP onde se aplicará uma avaliação de risco segundo o *DRAFT DOC API* .

Abstract

This thesis addresses one of the latest methodologies in the area of maintenance and inspection, the RBIM. This approach focuses on the risk that a particular facility or component represents for Health, Safety, the Environment and its costs.

Carry out a short history of post Maintenance World War II, where summarizes the most important methods of maintenance, until the present day.

The RBIM examines the risk taking into account the likelihood of failure and the consequences of failure that they can be combined in a matrix, the matrix of risk.

The probability of failure is the frequency of occurrence of an event per year. In the study of the PoF, it was found that this can be evaluated qualitatively or quantitatively, by presenting a table with four approaches for the assessment of PoF.

The consequence of failure is the result of an event or occurrence. The consequences can affect the health, safety, environmental and business / economics. The COF for each of the sectors, it may be, at image of PoF, evaluated qualitatively or qualitatively as described in the table with four types of evaluations COF.

A risk-assessment can be made of three different approaches, qualitative, semi-qualitative and quantitative, as the level of precision desired. Regardless of the level of accuracy, an assessment RBIM must follow an established procedure. The project RIMAP presents a procedure in which a preliminary analysis, collection and validation of data, risk analysis multi-level, decision and action plan, implementation and evaluation of performance.

The RBIM methodology has many of the concepts contained in the RCM methodology as the FMECA and tree of failures. Both methods make use of logic diagrams to identify failures and the need to have a multidisciplinary team for evaluation.

To give a clearer idea of applying the RBIM methodology, it describes an installation belonging to the FAP where will be apply a risk assessment according to the DRAFT DOC API.

Palavras-chave

Manutenção e Inspecção Centrada no Risco; Probabilidade de falha; Consequências de falha; Risco; Análise de Risco; Reservatórios de combustíveis.

Key-words

Risk Based Inspection and Maintenance; Probability of failure; Consequences of failure; Risk; Risk Analysis; Fuel tanks.

Índice

Índice de figuras

Índice de tabelas

"*Manutenção é isto...*

Quando tudo vai bem, ninguém se lembra que existe;

Quando algo vai mal, dizem que não existe;

Quando é para gastar, acha-se que não é preciso que exista;

Porém quando realmente não existe, todos concordam que deveria existir."

Arnold Sutter

Acrónimos

API ---American Petroleum Institute

Art. -- Artigo

ATA--Air Transport Association

CM ---------------------------------------Corrective Maintenance (Manutenção Correctiva)

CMMS------------------------------------Computerized Maintenance Management System

CoF--- Consequence of Failure (consequência de falha)

DNV -- Det Norske Veritas

DOD ----------------Department of Defense (Departamento de Defesa Norte Americano)

END-- Ensaios Não Destrutivos

EPA --- Environmental Protection Agency

EPA --- Environmental Protection Agency

ETPIS ------------------------------------ European Technology Platform on IndustrySafty

FAP -- Força Aérea Portuguesa

FF--- Failure Finding (pesquisa de avarias)

FMECA------------------------------------- Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

HAZOP -- Hazard and Operability

HT -- Hard Time

IMO -- International Maritime Organization

ISQ -- Instituto de Soldadura e Qualidade

JFSI ---------------- Jet Fuel Storage Installation (Instalação de armazenagem de *Jet fuel*)

KPI --- Key Performance Indicators

L --- Lubrication

LoF ---Likelihood of Failure (probabilidade de falha)

MSG --- Maintenance Steering Group

MTBF--Mean Time Between Failure

NATO North Atlantic Treaty Organization (Organização do Tratado do Atlântico Norte)

NAVAIR --- Naval Air (aviação naval U.S.A.)

OC-- On Condition

OEM -- Original Equipment Manufacturer

PHM -- Prognosis and Health Management

PoF --- Probability of Failure (probabilidade de falha)

PM --- Preventive Maintenance

QRA ---------- Quantitative Risk Assessment

RBI ---------- Risk Based Inspection

RBIM ---------- Risk Based Inspection and Maintenance

RBM ---------- Risk Based Maintenance

RBWS ---------- Risk Based Work Selection

RCM ---------- Reliability-Centered Maintenance (Manutenção Centrada na Fiabilidade)

RIMAP ------ Risk-based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry

S ---------- Servicing

SAE ---------- Society of Automotive Engineers

STANAG ---------- Standardization Agreement

1 Introdução

A necessidade de inspecção e manutenção é devida a vários factores de degradação como o desgaste ou a corrosão, baixa fiabilidade dos componentes, erros humanos, requisitos legislativos, ou factores externos como ambientes agressivos ou temporais. Nestas acções, maioritariamente baseadas no tempo, são dispendidos muitos recursos, quer humanos quer materiais.

Na maximização dos proveitos na indústria, com a desvantagem dos custos de matérias-primas, mão-de-obra e tecnologia, existe, a partir da década de 50 do Século XX, uma procura da minimização dos custos de manutenção. Este processo passa por várias etapas como se tentará dar uma ideia no resumo histórico da manutenção adiante descrito.

De filosofia em filosofia, de método em método, aparece na transição do Século XX para o XXI, a Inspecção e Manutenção Baseada no Risco (RBIM – *Risk Based Inspection and Maintenance*) sendo implementada, a nível europeu, nos últimos anos através do projecto RIMAP financiado pelo sexto Programa Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico.

Segundo os autores de *Application of Risk Based Inspection in Refinery and Processing Piping* [1], o intervalo óptimo de inspecção é determinado em função da exposição, de um componente de uma instalação, ao risco, sendo utilizado para evitar riscos inaceitáveis de alguns deles, ou excesso de inspecção na maioria deles. Assim o principal objectivo da RBIM é explorar os recursos limitados e objectivar os riscos realmente significativos.

Para A. Jovanivic [2], na grande maioria das instalações, apenas cerca de 20% dos seus componentes contribuem para cerca de 80% dos riscos incorridos. Na prática, isto significa que é necessário concentrar os esforços nos componentes críticos, 10 a 20% de todos os componentes, para eliminar a maior parte dos riscos, buscando dois objectivos aparentemente incompatíveis: a diminuição de custos e o aumento da fiabilidade, segurança e disponibilidade.

A gestão do risco é um assunto de elevada importância nas mais variadas áreas, como na da saúde, da alimentação, dos seguros, dos financeiros ou na militar como é o exemplo, neste último, da gestão operacional de risco [3] (ORM – *Operational Risk Management*). O ORM é um processo decisório para avaliar sistematicamente possíveis cursos de acção, identificando riscos e benefícios, e determinar qual o melhor para uma dada situação, garantindo a melhor eficiência da missão a todos os níveis, preservando os equipamentos e salvaguardando a saúde e o bem-estar. Outro exemplo é o *Hazard and Operability* (HAZOP), que visa identificar perigos e problemas de operacionalidade de um complexo industrial.

Nesta Dissertação tentar-se-á descrever em que consiste a metodologia designada por RBIM e evidenciar as vantagens da sua aplicação a um componente de uma instalação pertencente à Força Aérea Portuguesa (FAP), localizada no centro do país.

Conforme referem H. Schröder, R. Kauer e A. Jovanovic, S. Angelsen, G. Vage, enquanto metodologia multidisciplinar [4] [5], o RBIM exige uma equipa de especialistas com as mais diversificadas competências e conhecimentos ao nível da inspecção, manutenção, segurança, fiabilidade, modos de degradação e materiais, só para nomear alguns. Daí que a tentativa da sua aplicação a um componente da instalação não será tão metódica quanto é desejável.

Esta tese está organizada do seguinte modo:

Inicialmente, faz-se um resumo histórico da manutenção onde se tentará dar uma perspectiva da evolução que a Manutenção sofreu após a Segunda Guerra Mundial, desde a *Breakdown Maintenance* até à adopção formal, pelo IMO, da avaliação da segurança através da análise de risco.

Um dos capítulos centrais desta tese é o Estado da arte da RBIM onde são abordados, através da visão de alguns especialistas nesta matéria como Jovanovic e dos seus camaradas do projecto RIMAP entre outros como Patel ou Y. Bai, os conceitos de probabilidade de falha e consequência de falha, ao nível da segurança, saúde, ambiente e económico, juntamente com os de risco e matriz de risco.

É, também, estudado o processo de uma avaliação RBIM para a determinação do risco e sua mitigação utilizando dois procedimentos, um apresentado por Patel e outro apresentado no *RIMAP CEN Workshop Document*. O procedimento engloba a análise

preliminar, recolha e validação de dados, análise de risco multicritério, decisão e plano de acção, implementação e avaliação da eficiência.

No final deste capítulo serão apresentadas algumas das desvantagens e vantagens da metodologia RBIM.

Quem já estudou ou simplesmente teve algum contacto com a metodologia Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM), verifica que existem alguns pontos em comum, como por exemplo a matriz de risco e árvore de falhas. O capítulo RBIM vs RCM faz uma abordagem ao conceito da RCM e tenta identificar as semelhanças entre os dois conceitos.

É efectuada, no capítulo designado Modos de Deterioração e Ensaios Não Destrutivos (END), uma pequena abordagem aos modos de deterioração existentes em instalações que laboram com petróleo e seus derivados e aos END para os detectar.

As instalações, o tipo de produto armazenado, a legislação que, a nível nacional, rege as actividades relacionadas com o manipulação e armazenamento de combustíveis, bem como a manutenção aplicada à instalação e de acordo com as linhas directoras de manutenção da NATO, STANAG 3609, e obrigatoriamente efectuadas pela FAP, serão enumerados em Descrição da Instalação.

A análise de risco será efectuada a um reservatório de 500 m^3 que, por existir outro com a mesma capacidade e não existir informação suficiente relativamente às tubagens, ao número de flanges existentes.

A análise será efectuada recorrendo aos *Comprehensive Risk Assessment Method I* e *Risk Assessment Workbook for Comprehensive Model I*, respectivamente anexos A e C do *DRAFT DOC API* [6], e à programação em folhas de cálculo do Microsoft Excel, numa tentativa de automatização da avaliação de risco e a sua apresentação através da matriz de risco.

Esta matéria é muito actual e a sua tradução para Português não se encontra vulgarizada. No caso presente e porque na aeronáutica predominam os nomes e as designações anglo-saxónicas, estes serão referidos na língua original, em itálico. No anexo A, apresenta-se um glossário dos anglicismos usados e que, julga-se, suscitam dúvidas.

2 Resumo Histórico da Manutenção

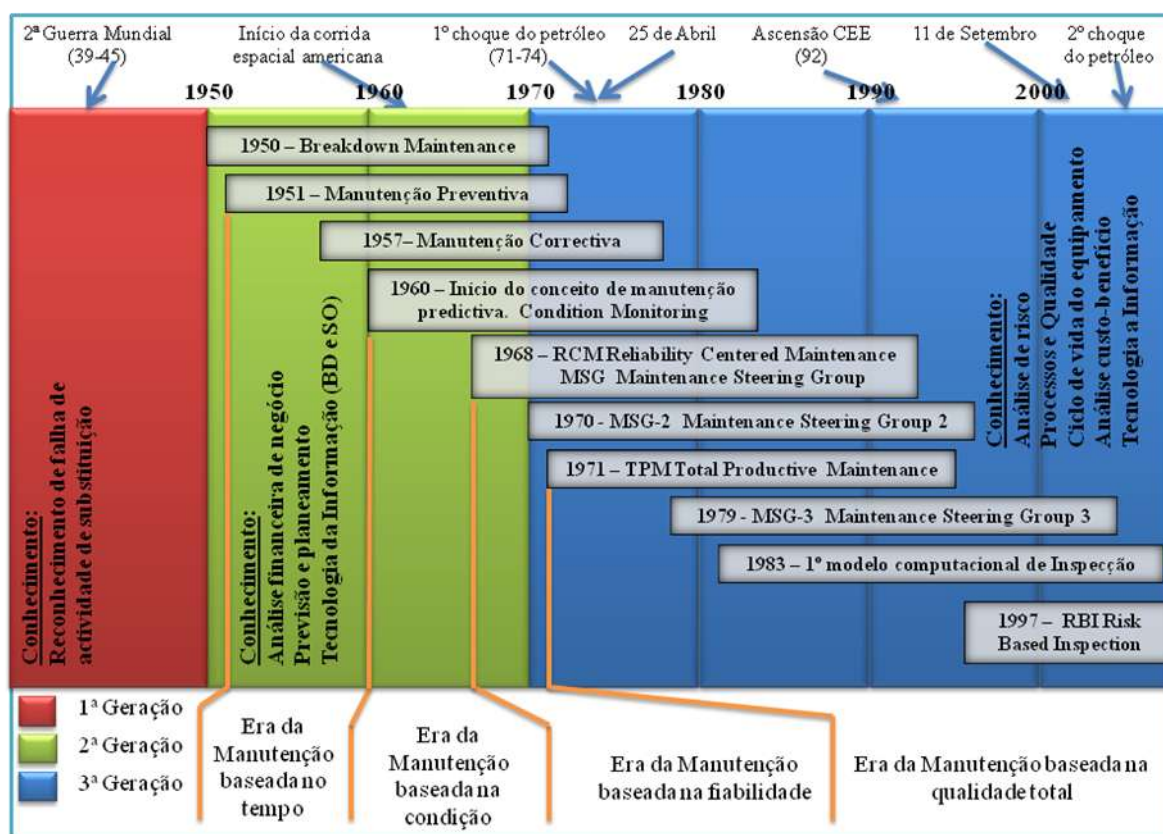
Na procura natural em melhorar as capacidades humanas, recorrendo à utilização de utensílios e apêndices, a Humanidade foi evoluindo até chegar à Revolução Industrial. Com o desenvolvimento e complexificação das ferramentas e equipamentos, surge também a necessidade de Manutenção. A Manutenção era efectuada pelos operadores até ao surgimento da produção em série da *FORD* que obrigou à criação de equipas de Manutenção para que esta se pudesse efectuar com maior rapidez.

Adaptação de: Tese Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em activos de sistemas eléctricos de JOÃO LUIZ ALKAIM (2003).

Figura 1 - Cronograma Histórico da Manutenção. [7]

No início da década de cinquenta, o tipo de Manutenção efectuado era o "*Breakdown Maintenance*", surgindo por volta de 1951 a Manutenção Preventiva.

Com os programas iniciais de Manutenção Preventiva (MP) baseados no conceito de *Overhaul's* periódicos, julgava-se que estava assegurada a fiabilidade e assim se assegurava uma operação segura. Contudo, por volta dos meados de década de sessenta do século XX, as companhias aéreas efectuaram testes que demonstraram que o *overhaul* programado de um equipamento complexo, praticamente não tinha efeito na fiabilidade do equipamento em serviço. Estes testes revelaram a necessidade da criação de um novo conceito para a MP.

Segundo MIL-HDBK-2173 (AS) [8], é com a construção e entrada em serviço da aeronave *BOEING 747*[1] *"JUMBO"*, em 1968, que é constituído o *Maintenance Steering Group* (*MSG)* e a criação do documento "HANDBOOK: *Maintenance Evaluation and Program Development*", que continha os procedimentos do programa inicial de Manutenção Preventiva do "JUMBO". A evolução para o *MSG-2*, "*Airline/Manufacturers Maintenance program planning document*", em 1970, deveu-se à necessidade de alterar alguns procedimentos e de se suprimir certa informação do programa do *747*. Em 1979, um grupo de trabalho da *Air Transport Association (ATA)* reviu o *MSG-2*, que necessitava de ser revisto para aplicação nas novas aeronaves que, entretanto, estavam a ser desenvolvidas. O documento resultante deste grupo de trabalho foi o *MSG-3*.

Os conceitos preconizados no *MSG-2* revolucionaram os procedimentos para o desenvolvimento de programas de Manutenção Preventiva. As técnicas nele constantes foram aplicadas às aeronaves *P-3A*, *S-3A* e *F-4J* da aviação Naval Norte Americana em 1972.

O MSG-3 surgiu partindo do conhecimento adquirido da aplicação do MSG-2 que durante a década de setenta do Século XX, orientou a operação e manutenção da aeronáutica civil e militar, e do documento, elaborado por F. Stanley Nowland e Howard F. Heap em 1978, denominado "*Reliability-Centered Maintenance*".

Estes documentos, contudo, continham algumas lacunas e, por exemplo, não contemplavam os procedimentos para o desenvolvimento de intervalos de inspecções.

[1] Primeiro voo efectuado em 1969.

Para as remediar, o Departamento de Defesa Norte Americano[2] (DoD - *Department of Defense*) solicitou aos autores do *MSG-1* e do *MSG-2* que elaborassem um documento que contivesse a filosofia *Reliability-Centered Maintenance* (RCM). Deste trabalho resultou o relatório AD-D066579 "*Reliability-Centered Maintenance*", seguindo-se a criação de vários manuais como o MIL-STD-2173, "*RCM Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment*", MIL-HDBK-266, NAVAIR 00-25-400 e NAVAIR 0-25-403 que contém o processo RCM completo. A *Coast Guard*, guarda costeira norte americana, criou, em 1992, o CGTO PG–85–00–30, "*Aeronautical Engineering Process Guide for RCM Process*".

Em 1999, a *Society of Automotive Engineers* (SAE) elaborou o SAE JA1011, "*Evaluation Criteria for RCM Processes*" que estabelece critérios para o processo *RCM*. Dois anos mais tarde a NAVY actualizou o NAVAIR 00-25-403 para englobar os melhoramentos no processo RCM estabelecidos pelo SAE JA1011.

Segundo F. J. Vacha [9], os primeiros conceitos de RBI foram aplicados na indústria petroquímica e refinaria em 1983, quando apareceu o primeiro modelo computorizado de inspecção implementado pela Shell Canada. A RBI toma, conforme João R. S. Picanço refere na sua dissertação de Mestrado [10], o formato de Norma, na década de 90 do Século XX, desenvolvida pela *American Petroleum Institute* (API) e pela *Det Norske Veritas* (DNV[3]), numa sistematização das condições de processo, do histórico de inspecção e das consequências das falhas.

Yong Bai [11], em *Marine Strutural Desing*, refere que na segunda metade da década de setenta do Século XX, a indústria naval organizou um grupo de trabalho com o objectivo de desenvolver metodologias de análise e recolha de dados de incidentes. Refere ainda que, após o *Norwegian Petroleum Directorate* criar directivas, em 1981, para que o desenvolvimento da segurança requerendo uma avaliação de risco quantitativa, *Quantitative Risk Assessment* (QRA), fosse implementada, na fase de projecto, para instalações navais futuras, e de Lorde Cullen, depois de um grave acidente na plataforma Piper Alpha em 1988, ter recomendado a regulamentação da QRA no Reino Unido, é que o *International Maritime Organization* (IMO) adaptou, em

[2] Organismo equivalente ao Ministério da Defesa.
[3] DNV é uma fundação independente norueguesa, criada em 1864, com o objectivo de salvaguardar a vida, a propriedade e o meio ambiente.

1997, formalmente a regulamentação de segurança como ferramenta de avaliação regulamentação de segurança para a indústria naval.

A *Environmental Protection Agency* (EPA[4]) estabelece, em 1998, a primeira parceria [12] com *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e com a indústria petrolífera, operações de limpeza em depósitos de combustível, com base na análise de risco.

Na Europa, foi lançado, em 2001, o projecto *Risk-Based Inspection and Maitenance Procedure for European Industry* [5], RIMAP, dividido em três subprojectos, *Research and Technology Development* (RTD), *Demonstration for Each Industry Sector* (DEMO), e *Thematic Network* (TN), participando nos dois últimos o Instituto da Soldadura e Qualidade (ISQ) como parceiro, focalizado para as indústrias energéticas, petroquímicas, químicas e metalúrgicas. Este projecto foi completado em 2005 com a finalização do subprojecto NT. O seu principal objectivo é o de encontrar um método europeu que incorpore de modo eficiente os métodos, as normas e os procedimentos.

Actualmente o 7º Programa Quadro da União Europeia contempla este tema duma forma mais horizontal e em diversas áreas. O resultado é normalmente designado por *European Technology Platform on Industrial Safety* (ETPIS), onde o ISQ continua a participar.

Segundo a brochura da ETPIS, o desafio é alcançar uma Europa sem acidentes industriais com benefícios imediatos para os trabalhadores, para a comunidade e para o ambiente, com a consequente redução de custos e melhoria da produtividade e da competitividade.

4 Agência de protecção ambiental norte americana.

3 Estado da Arte

3.1 Introdução

Após uma pesquisa demorada, verificou-se que existe muito pouca informação disponível para consulta na área da RBIM. Na Internet é possível encontrar muitos “sites” de empresas, entre as quais o ISQ, que já efectuam este tipo de inspecção e manutenção, porém a informação contida é escassa, não possibilitando uma comparação entre métodos por elas utilizado e como efectuam esse processo.

A consulta de *papers* ficou limitada aos de consulta livre, tornando mais difícil efectuar através deles uma avaliação do *State of the Art*. Por estas razões a avaliação do ponto de situação, relativamente a este aspecto assente sobretudo no *Report on Current Practice* [13] do consórcio RIMAP.

A RBIM encontra-se em fase de adopção por alguns sectores da indústria, estando a ser utilizada principalmente pelas grandes empresas petrolíferas.

É admitido que a abordagem tradicional de inspecção baseada no tempo é demasiado conservativa, podendo pois obter-se redução de custos significativos ou em alternativa intensificar a inspecção e manutenção em equipamentos mais críticos, se for adoptado outro modelo de inspecção.

Muitas empresas consideram que o risco é tratado pelos departamentos de Saúde, Segurança e Ambiental através da avaliação HAZOP na fase de projecto, cujos dados serão suficientes para o planeamento de inspecção e manutenção, sem a implementação de uma metodologia específica.

Não existe, na generalidade, uma boa compreensão dos pontos fortes e fracos das diferentes metodologias RBIM. As empresas, que se preparam para a utilização desta metodologia, não têm total visão das capacidades das potencialidades da sua implementação.

Não existem critérios quantitativos para aferir a segurança. Isto é, os diferentes métodos de análise podem resultar em diferentes níveis de segurança, ficando por responder as questões: Quando é que a segurança é suficientemente segura? Qual é a segurança suficiente?

Geralmente as metodologias RBIM incluem as análises qualitativas e quantitativas, sendo direccionadas, fundamentalmente, para equipamentos estáticos.

A maior parte das empresas executa o planeamento e a programação da manutenção baseados numa abordagem prática, através da combinação das técnicas de Manutenção Preventiva com Manutenção Correctiva. Quando a Manutenção Preditiva, incluindo RCM, é executada, somente o é para equipamentos específicos.

A fraca utilização de metodologias de manutenção e de ferramentas de análise de risco na maioria das empresas, contrasta com a abundância de documentos e literatura, criada para indústria específica de aeronáutica, petrolífera e de contexto militar norte-americano, disponível há já algumas décadas. Uma das explicações para esta diferença é que 99% desta documentação está virada para as estratégias mais avançadas de manutenção, que são apropriadas para apenas 1% dos equipamentos utilizados na maioria das empresas.

Na maioria dos casos, os planos de manutenção e de inspecção não estão integrados, embora algumas empresas e, principalmente, o projecto RIMAP, estejam a enveredar pela integração da manutenção e inspecção.

A nível de normalização da RBIM, os documentos reguladores são: API 580 *Recommended Practice for Risk Based Inspection*, API 581 *Risk Based Inspection – Base Resource Document*, ASME CRTD 20 *Risk-based Inspection Development of Guidelines*, EUR 21581 EN *European Framework Document for Risk-informed In-service Inspection* (ENIQ) e a Directiva 97/23/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Maio de 1997 relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros sobre equipamentos sob pressão.

3.2 RBIM

No dia-a-dia convive-se com o risco de que algo perigoso aconteça, quer no recanto do lar, no decurso da vida pessoal de cada um, quer a nível profissional. Existem os mais variados perigos a que nos arriscamos e existe em permanência o risco de que algum perigo nos atinja. Esta perspectiva de insegurança em relação ao que poderá acontecer, para além de ser aplicada ao risco que cada indivíduo está sujeito, é também aplicada

noutras áreas, como a militar, a médica, alimentar e, na parte que nos diz respeito, engenharia, sendo efectuada uma avaliação e gestão do risco.

No nosso quotidiano, estamos habituados a avaliar o risco empiricamente e a tomar medidas para reduzir ou evitar.

Quando nos aproximarmos da rua com a intenção de a atravessar, identificamos e avaliamos o risco olhando para o tráfego que segue em cada uma das direcções. Tratamos e aceitamos o risco quando decidimos o melhor momento de a atravessar tendo em conta a observação de tráfego efectuada.

Numa apresentação mais técnica Fábio Ramos, da AXUR INFORMATION SECURITY, no seu blogue[5], refere que a gestão do risco se divide em quatro partes:

1. Identificação e avaliação dos riscos (risk assessment).
2. Tratamento dos riscos (risk treatment).
3. Aceitação de riscos (risk acceptance).
4. Comunicação dos riscos (risk communications).

Perigo e risco são muitas vezes interpretados, erradamente, como sinónimos, para clarificar e esclarecer a diferença de significado entre estes dois conceitos faz-se recurso à definição efectuada por Cameron e Raman no *Process Systems Risk Management.* [14]

Assim, o perigo é uma fonte da degradação ou de uma situação com um potencial de causar degradação. Ao nível industrial são considerados perigos a presença de altas pressões ou temperaturas elevadas, fumar em certos locais, materiais com propriedades explosivas, armazenamento de grandes quantidades de materiais ou substâncias tóxicas ou ainda parques industriais em zonas urbanas com densidade populacional elevada. Frisam ainda que o perigo é um potencial de degradação ou perdas e não a degradação ou as perdas em si.

Já o risco é por eles interpretado como a probabilidade de ocorrência de um evento que pode causar um determinado nível de degradação a pessoas, a bens, ao ambiente ou prejuízos financeiros ao longo de um determinado período de tempo. O risco é imprevisível, ninguém sabe o que vai acontecer no futuro, e nem sequer estatisticamente ele pode ser avaliado. Mas, se se partir do princípio de que as condições de trabalho

5 http://axurblog.blogspot.com

numa instalação ou complexo industrial se mantêm e os padrões comportamentais dos trabalhadores não se alterarem, é razoável supor que se pode chegar a um valor de taxas de perda, calculado através dos registos históricos. Este valor pode ser, razoavelmente, atribuído para prever ou "estimar" futuras perdas. O risco não é uma coisa nem tem um atributo físico daí ser importante não assumir que o risco pode ser medido, estimado ou calculado em todas as situações.

Já a *DRAFT DOC API, Managing System Integrity* [6] classifica o risco como uma medida de perda, tanto em termos da probabilidade de ocorrência do incidente como da magnitude das suas consequências.

Antes de se entrar na abordagem à avaliação do risco convém clarificar os conceitos consequência e probabilidade de falha ou ocorrência, aos quais o projecto europeu de implementação da manutenção e inspecção, baseadas no risco, RIMAP, iniciadas em 2001, dedica alguma linhas nos vários *papers*, elaborados neste âmbito, pelos autores Jovanovic, Kauer, Angelsen, Vage, Johansson e Pollock.

Adoptaram-se os acrónimos PoF para a probabilidade de falha e CoF para a consequência de falha, conforme utilizados pelo RIMAP e pelo API, embora neste último seja adoptado para a probabilidade de falha o acrónimo LoF.

3.2.1 Probabilidade de falha

Da Probabilidade e Estatística sabe-se que a probabilidade de um evento aleatório ocorrer pode ser expressa num valor compreendido entre zero (0) e um (1), traduzindo a possibilidade de um determinado acontecimento, baseada em observações efectuadas ao longo de uma experiencia e durante um determinado intervalo temporal.

Para a *DRAFT DOC API* [6], a frequência de ocorrência de um determinado acontecimento, ao longo de um ano, dá-nos a probabilidade de ele ocorrer. Esta estimativa engloba toda a cadeia de acontecimentos, desde a falha inicial até à reparação, incluindo as condições que possam aumentar os efeitos nocivos. Na determinação da estimativa, entra em consideração a fiabilidade dos componentes ou equipamentos e a dos técnicos.

Não existe um consenso absoluto, relativamente à PoF, entre os mais variados documentos que se debruçam sobre a sua caracterização. Como se mostra no resumo (tabela 1) de alguns desse documentos, a PoF pode ser caracterizada, quer quantitativamente quer qualitativamente, tendo em atenção que a caracterização qualitativa deve ser mais conservativa devido a ser um método com um menor detalhe que o método quantitativo.

Também se verificam algumas diferenças quer na quantificação quer na qualificação da probabilidade de falha. Isto resulta da necessidade de cada entidade atender aos objectivos a que estão endereçados.

Tabela 1 - Interpretações da probabilidade de falha

PoF LoF	*NAVAIR 00-25-403*	*NASA-STD-8719.17*	*DRAFT DOC API Qualitative Risk Assessment Method II*	*Rick Peterson*
Frequente	$> 10^{-3}$	$x > 10^{-1}$	***5*** - Extremamente provável de ocorrer.	Muito elevada / a acontecer
Provável	$>10^{-4}$	$10^{-1} \geq x > 10^{-2}$	***4*** - Muito provável que ocorra.	Elevada
Ocasional	$>10^{-5}$	$10^{-2} \geq x > 10^{-3}$	***3*** - Média probabilidade de ocorrência.	Média
Remota	$>10^{-6}$	$10^{-3} \geq x > 10^{-6}$	***2*** - Muito pouco provável de ocorrer.	
Improvável	$<10^{-6}$	$10^{-6} \geq x$	***1*** - Extremamente improvável de ocorrer.	Baixa

No projecto RIMAP, a avaliação PoF pode ser efectuada de formas diferentes conforme os objectos que estejam a ser avaliados sejam eles equipamentos estáticos, instrumentos com funções de protecção ou componentes activos.

Nos componentes estáticos entram em consideração os mecanismos de degradação juntamente com CoF para a determinação do risco aceitável e combinado com a taxa de avarias para determinação dos intervalos de inspecção. Nos instrumentos de protecção devem ser determinadas estratégias que vão ao encontro dos requisitos de disponibilidade. Para os componentes activos para um determinado programa de

manutenção, a avaliação PoF é combinada com a avaliação CoF na obtenção do risco para esse programa de manutenção.

No âmbito deste projecto [15], é proposto um diagrama lógico (Figura 2) para a determinação da probabilidade de falha, utilizando três tipos de fontes. Uma fonte determina a PoF através dos dados históricos e estatísticos de falha em equipamentos equivalentes. A segunda fonte consiste na modelação e previsão dos modos de falha do componente considerado. A terceira fonte usa o juízo experimentado e o conhecimento (melhores práticas) para a determinação da melhor PoF. A figura abaixo esquematiza a determinação do valor da PoF para uso na avaliação de risco.

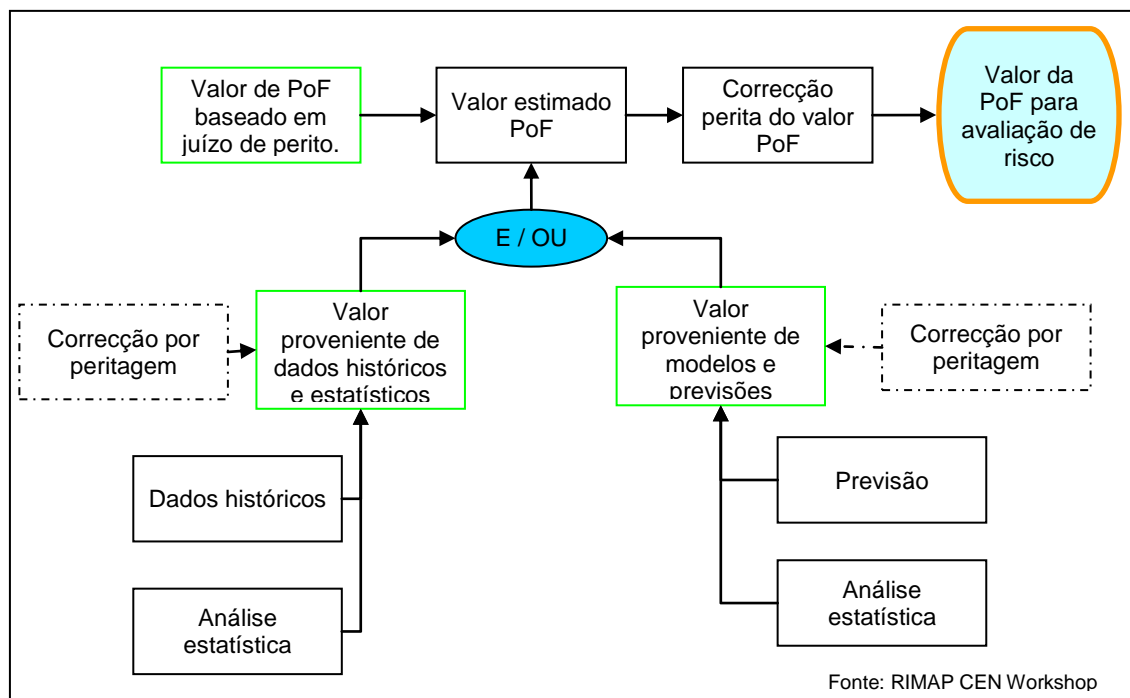



Figura 2 - Diagrama para a determinação da PoF.

As correcções efectuadas por peritagem podem incluir factores como falhas ocorridas em equipamentos similares, mudança das condições de operação, cargas inesperadas, entre outros.

3.2.2 Consequências da falha

Uma consequência é o resultado de um acontecimento ou ocorrência. Podem existir uma ou mais consequências resultantes de um acontecimento podendo estas serem positivas ou negativas. No que à segurança diz respeito, as consequências serão sempre negativas.

As consequências podem ser expressas qualitativa ou quantitativamente. Angelson, Johasson e Vage [16], no modelo global de consequência de falha no projecto RIMAP, referem que a consequência de falha (CoF) pode ser determinada em termos descritivos ou numéricos, embora o método numérico seja o mais objectivo, permitindo a mesma interpretação, sendo, por isso menos susceptível a julgamentos individuais. O método de cálculo deve respeitar os requisitos legais ao nível da Saúde, Segurança e Ambiente e, adicionalmente, ser capaz de lidar com os aspectos económico-financeiros como os custos de reparação e de perda de produção.

Outros autores recomendam que as consequências económicas não sejam combinadas com as consequências ao nível da Saúde, Segurança ou Ambiente porque, enquanto as consequências económicas podem ser optimizadas, as relacionadas com os outros níveis devem respeitar as condições *sine qua non*. Uma qualquer consequência de falha classificada como elevada, ou grave, deve ser tratada como elevada ou grave, mesmo que a respectiva consequência económica seja baixa.

Ainda no âmbito do projecto RIMAP, são sugeridas as avaliações para a determinação das CoF de segurança (CoF_{safety}), de saúde (CoF_{health}), ambiental ($CoF_{environmental}$) e negócio ($CoF_{business}$), para a determinação das consequências de falha em cada uma destas áreas. Sendo que, numa avaliação das consequências, os aspectos relacionados com a saúde, o ambiente e com a segurança devem sempre ser incluídos, evitando efectuar a média dos riscos, mas devendo ser utilizada a consequência mais gravosa.

Os riscos para a saúde e segurança e as respectivas consequências são os aspectos mais importantes a considerar num plano de manutenção ou inspecção tendo em consideração fugas ou roturas. O *DRAFT DOC API* apresenta somente três avaliações relativas as consequências, a ambiental (ECoF), a populacional (PCoF) e a de negócio (BCoF).

Consoante o método utilizado, em cada avaliação, devem ser determinado, conforme direccionado no *RIMAP CEN Workshop Document*, pelo menos um dos aspectos respectivos:

- CoF_{safety} – massa ou fluido libertado, tipo de fuga, toxicidade, ponto de inflamação, energia libertada e energia cinética de objectos projectados, perda potencial de vidas, dimensão da área exposta.
- CoF_{health} – propriedades do fluido que afectam a saúde, massa ou fluido libertado, efeitos nas pessoas a longo termo.

Um diagrama lógico para a avaliação das CoF Segurança e Saúde, sugerido pelo projecto RIMAP, pode ser visualizado na figura 3, onde se combinam os efeitos para o Homem e para o equipamento.

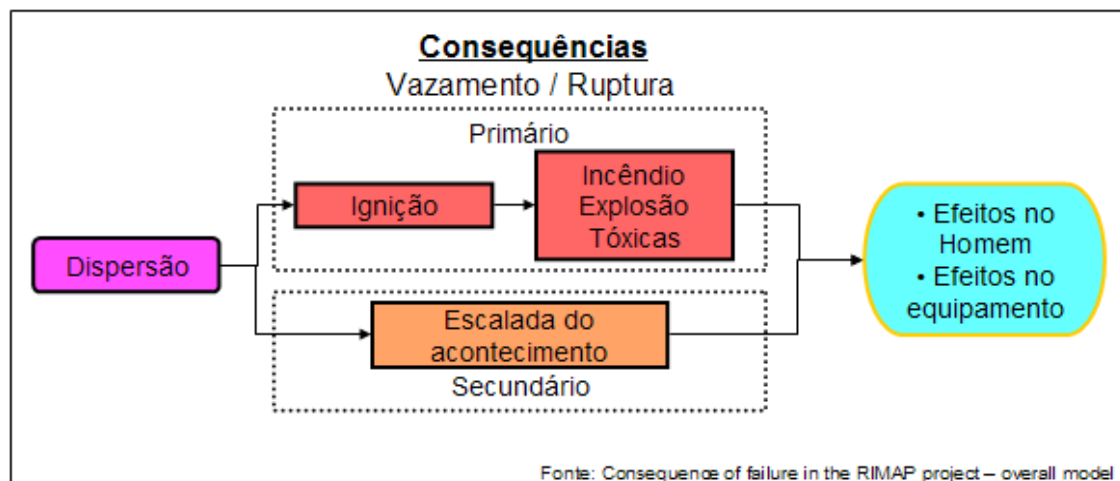



Figura 3 - Diagrama de avaliação CoF saúde e segurança.

- $CoF_{environmental}$ – efeitos nos solos, no ar e na água quer superficiais que subterrâneas, a curto ou longo prazo, efeitos directos e indirectos na fauna e flora, esforço de restabelecimento, traduzidos em valores monetários, volume libertado ou o efeito do derrame.

Usualmente, o método de cálculo das consequências está relacionado com o volume libertado como o parâmetro para a determinação do custo.

$$CoF_{environmental} = \text{Custo do fluido x Volume libertado}$$

Custo do fluido entra em consideração com as acções de recuperação das consequências do acidente, multas, indemnizações bem como publicidade negativa.

Na figura 4, é apresentado um diagrama lógico de avaliação CoF ambiental sugerido pelo projecto RIMAP.

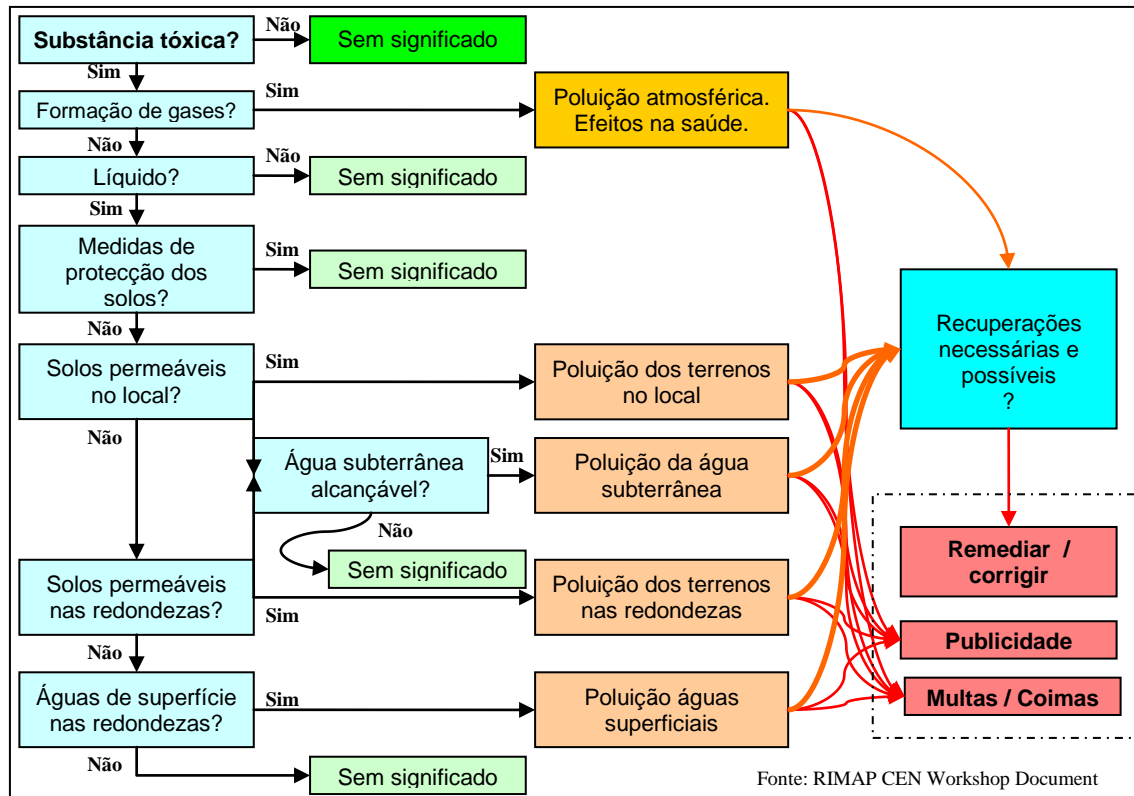



Figura 4 - Diagrama lógico de avaliação CoF ambiental.

- $CoF_{business}$ – custos expressos em valores monetários, sendo este, por exemplo, o somatório que se segue:

  $CoF_{business}$

  - Custos de paragem e/ou arranque
  - Custos de perda de produção
  - Custos de reparação
  - Custos de sobressalentes
  - Custos secundários de reparação

- Custos de material
- Custos indirectos

Como foi explicado e como se mostra na tabela resumo de alguns documentos, a CoF pode ser caracterizado quer quantitativamente quer qualitativamente, tendo em atenção que a caracterização qualitativa deve ser mais conservadora devido a ser um método com um menor detalhe que o método quantitativo.

Tabela 2 - Interpretações das consequências de falha.

CoF	*NAVAIR 00-25-403*	*NASA-STD-8719.17*	*DRAFT DOC API Qualitative Risk Assessment Method II*	*Rick Peterson*
Catastrófica	Morte, perda total, danos superiores a $1.000.000.	Morte ou incapacidade permanente, perda total ou paragem superior a 4 meses, danos ambientais > $1.000.000 ou cinco ou mais anos de correcção.	**5** – Consequências extremamente elevadas.	**Muito sério** – Morte, danos ambientais por longo tempo, paragem permanente.
Crítica	Feridos graves, perda parcial, danos superiores a $200.000.	Feridos graves, perda parcial ou paragem entre 2 e 4 meses, danos ambientais entre $250.000 e $1.000.000 ou 1 a 5 anos de recuperação.	**4** – Consequências elevadas.	**Sério** – Feridos graves, paragem elevada, despesas.
Moderada		Feridos ligeiros, de 1 dia a duas semanas de paragem, Danos ambientais entre $25.000 a $250.000 e recuperação inferior a 1 ano.	**3** – Consequências moderadas quando comparadas com as consequências de outros cenários.	
Marginal	Feridos ligeiros, 5 ou mais dias de inoperatividade, danos superiores a $10.000.		**2** – Baixas consequências.	**Marginal** – Feridos ligeiros, reparações, perdas menores.
Negligenciável	Continuação da operação com riscos mínimos, danos inferiores a $10.000.	Condição que não altera o normal desgaste, paragem inferior a 1 dia, danos ambientais inferiores a $25.000.	**1** – Consequências extremamente baixas.	**Menor** – Custos reduzidos com equipamento.

É de salientar que qualquer determinação de CoF deve, em primeiro lugar, verificar os regulamentos ou legislação em vigor.

3.2.3 RBIM

Baseado na avaliação do risco, na óptica de Y. Bai [11], o processo RBI envolve a prioritização de sistemas, subsistemas e elementos, e o desenvolvimento de uma estratégia de inspecção. O processo inclui também a decisão relativa às reparações e manutenção.

Y. Bai refere ainda que o método inclui características importantes como:

- Uma abordagem "*top-down*[6]" que se inicia ao nível do sistema ou instalação antes de se debruçar ao nível dos componentes.
- Ser um processo "vivo" e flexível que procura a plenitude e pode ser implementado facilmente.
- A utilização de medidas de risco qualitativas e quantitativas.
- A utilização efectiva e eficiente de métodos analíticos que forneça resultados familiares aos inspectores.

A abordagem RBI pode ser desenvolvida com base no desempenho das estruturas à fadiga, corrosão, mecânica da fractura e avaliação de riscos.

Para a revista *Process Worldwide* (01-2006) [17], a RBI é uma extensão lógica das estratégias tradicionais de manutenção diminuindo o esforço de manutenção ao mesmo tempo reduzindo os tempos de paragem. Para tal diminui as inspecções desnecessárias em equipamentos não críticos e aumenta as acções de manutenção em componentes com maior probabilidade de falha e que podem causar mais danos. As equipas de manutenção podem utilizar a análise de risco para identificar os equipamentos de elevada criticidade para a diminuição do risco do sistema, aumentando a segurança e a fiabilidade.

Esta revista ainda refere que com a utilização da RBI pode-se:

- Avaliar acções de manutenção anteriores para a definição de prioridades de inspecção.
- Identificar mecanismos de falha críticos.
- Identificar os pontos fracos do sistema.
- Concentrar a capacidade de inspecção em áreas críticas do sistema.

[6] Filosofia RCM e usada pelo MSG-3 (Maintenance Steering Group 3)

- Efectuar acções de manutenção com informação recolhida para redução de tempos de paragem.
- Avaliar as consequências que a alteração de método irá introduzir na integridade do equipamento.
- Optimização das acções de manutenção, inspecção e reparação como parte da estratégia de minimização do risco.
- Avaliar futuros planos de inspecção e manutenção.
- Concentrar nos mecanismos de falha de modo a aumentar a eficácia da inspecção.
- Redução da incerteza técnica.
- Diminuição dos tempos de paragem devido a falhas não previsíveis.
- Aumento da disponibilidade e optimização do esforço e custos de inspecção.
- Diminuição do risco e aumento da segurança.
- Aumento da fiabilidade do sistema.

Segundo AB-505 [18], a RBI é um processo de gestão pelo qual os requisitos de inspecção ou manutenção são baseados no risco inerente ao equipamento. O risco inerente de um equipamento, ou componente, é o produto da probabilidade de falha desse equipamento ou componente, acrescido das consequências esperadas caso a falha ocorra. A mesma leitura têm Khan e Haddara [19], num artigo publicado no *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, ao afirmarem que a avaliação de risco pode ser definida qualitativamente ou quantitativamente, em que o RBI é utilizado para determinar a probabilidade de falha e as suas consequências.

No *Best Practice for Risk Based Inspection as a Part of Plant Integrity Management* [20], doravante referido como *Best Practice*, vai-se mais longe ao dividir a avaliação em três tipos de abordagem, tal qual a *DRAFT DOC API Managing System Integrity*, qualitativamente, semi-quantitativamente e quantitativamente[7], aos quais Patel [21], numa conferência em 2005, classifica-os como Nível I, Nível II e Nível III respectivamente.

A abordagem qualitativa deve ser baseada nos julgamentos efectuados pelos especialistas através de critérios descritos, quer de probabilidade quer de consequências,

[7] A que os autores designam de "*fully quantitative*", enquanto Patel denominou "*Level III Quantitative*", e que se achou por bem adoptar-se quantitativamente.

reflectindo uma opinião conscienciosa fazendo uso de uma matriz de risco combinando a probabilidade com as consequências. Montenegro e Tischuk [22], 6ª COTEC, salientam que esta abordagem é vantajosa por permitir a finalização de uma avaliação RBI mesmo que não existam dados quantitativos detalhados e suficientes embora a precisão dos resultados seja dependente da competência dos especialistas.

Patel afirma que este nível é "rápido e fácil", mas que é um nível conservativo, apropriado para uma abordagem inicial ao risco e "uma boa ferramenta para demonstrar a metodologia RBI da API".

Numa análise semi-quantitativa os dados podem ser adquiridos através da experiência, dados gerais de falha, avaliações ou análises numéricas de modo a determinar um único valor numérico para uma determinada probabilidade de falha e suas consequências para uma determinada causa e efeito. Segundo o *DRAFT DOC API Managing System Integrity* [6] esta análise utiliza a combinação do método qualitativo com o quantitativo.

Por seu lado, Patel refere que este nível é um método intermédio do Nível III, para a determinação do risco de componentes individuais de um equipamento ou sistema, mais preciso, evitando a avaliação "excessivamente conservadora" do Nível I, embora mais demorado.

Na análise quantitativa, utilizam-se métodos de análise de fiabilidade para determinar a probabilidade e consequências de falha de um equipamento para cada cenário de acidente.

Este nível, segundo Patel, é um método de avaliação de risco mais detalhado e preciso em componentes individuais e calcula os valores específicos da probabilidade de falha, das consequências e do risco de cada componente. Diz ainda que este nível deve ser utilizado quando, na avaliação de Nível II, o componente for classificado com as categorias de risco mais elevado.

Todos, numa primeira fase de determinação de risco de uma determinada instalação e de um modo genérico, aplicam a seguinte formula para o cálculo do risco:

$$\textbf{RISCO} = \textbf{PoF} \times \textbf{CoF}$$

Por outras palavras, o risco é a combinação da consequência da falha com a frequência ou probabilidade de falha, atrás estudadas, conforme é o exemplo do quadro (Figura 5) traduzido e adaptado da NAVAIR 00-25-403 [23], conhecida como Matriz de Risco.

As matrizes de risco podem ter vários formatos, 3x3, 5x4 ou 5x5, como apresentado no *Best Practice*.

Frequência / Consequências	Frequente ≥ 1 por 1000 horas	Provável ≥ 1 por 10000 horas	Ocasional ≥ 1 por 100000 horas	Remota ≥ 1 por 1000000 horas	Improvável < 1 por 1000000 horas
Catastrófica	1 Alto	2 Alto	4 Alto	8 Médio	12 Aceitável
Critica	3 Alto	5 Alto	6 Médio	10 Baixo	15 Aceitável
Marginal	7 Médio	9 Médio	11 Baixo	14 Aceitável	17 Aceitável
Baixa	13 Aceitável	16 Aceitável	18 Aceitável	19 Aceitável	20 Aceitável

Matriz de avaliação de risco — Fonte: NAVAIR 00-25-403

Figura 5 -Matriz de risco.

O Risco pode ser documentado tanto qualitativamente como quantitativamente.

É também no *Best Practice* que estão descriminados os passos que devem estar contidos numa análise de risco, sendo eles;

- Identificação dos cenários de acidente envolvendo a falha do equipamento.
- Identificação dos mecanismos e modos de falha de uma potencial degradação.
- Determinar a probabilidade de cada mecanismo ou modo de falha.
- Avaliar as consequências resultantes de falha do equipamento.
- Determinação do risco da falha do equipamento.
- Categorização e escalonamento do risco.

Afirma ainda que os objectivos primários da análise de risco no âmbito da RBI são;

- Identificar o equipamento onde um defeito pode causar o aumento da possibilidade de acidente.
- Determinar o âmbito do esquema de avaliação do procedimento adoptado.
- Especificar o equipamento para avaliação segundo um procedimento.
- Identificar a causa e os mecanismos de degradação.
- Estabelecer os intervalos de inspecção para o primeiro e subsequentes avaliações.
- Seleccionar a técnica de inspecção mais apropriada.

O RBIM é a referência que o RIMAP [16] faz com a junção da RBI, que tradicionalmente é uma avaliação de risco direccionada para as consequências relacionadas com a Saúde, Segurança e Ambiente, com a Manutenção Baseada no Risco (RBM), mais direccionada para as consequências e seus impactos nos âmbitos económico financeiros.

3.2.4 Procedimento

Existem várias referências ao procedimento da RBIM, umas referindo-se à RBI outros à RBIM. Aqui escolhemos abordar as descrições efectuadas por Patel e no âmbito do projecto europeu RIMAP. Escolheu-se Patel por se considerar ser uma abordagem inicial ao procedimento e o procedimento do projecto RIMAP por se considerar ser uma abordagem mais detalhada de um procedimento RBIM.

Patel propõe um diagrama de blocos (Figura 6) do processo RBI com os elementos essenciais dum plano de inspecção baseado no risco, independentemente do tipo de avaliação, qualitativa, semi-quantitativa ou quantitativa. Na sua óptica, o processo consiste em avaliar o risco do equipamento, e, então, determinar o âmbito e a frequência das inspecções.

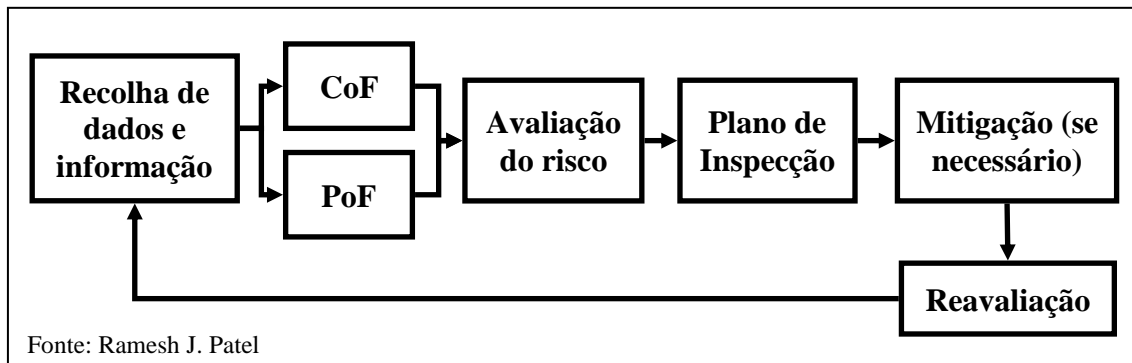



Figura 6 - Processo RBI segundo Patel.

A avaliação de risco envolve como tarefas, em primeiro lugar, estabelecer a actual condição do equipamento e antecipar a sua degradação, através das seguintes questões*: Que degradação de material ocorreu ou pode ocorrer? Qual é a probabilidade de essa degradação ocorrer? Quais são as consequências dessa degradação?*

Patel refere ainda que a RBI deve ser elaborada através de sete passos, sendo eles: o Planeamento e o Âmbito, a Avaliação da Probabilidade, a Avaliação das Consequências, Escalonamento do risco, critérios de Aceitação, Frequência e Técnicas de Inspecção, Processo de Gestão e finalmente a Documentação.

Para o projecto RIMAP, um procedimento RBIM, cujo diagrama lógico simplificado apresentado num dos documentos de A. Jovanovic, no âmbito do RIMAP, é mais elaborado e deve conter os seguintes passos principais (Figura 7):

a. Análise inicial e planeamento / Análise preliminar.
b. Recolha e validação de dados.
c. Análise de risco multicritério.
d. Decisão e plano de acção / Decisão e optimização.
e. Execução do plano e apresentação de relatórios / Implementação.
f. Revisão da performance / Avaliação da eficiência.

3.2.4.1 Análise preliminar

Na análise preliminar estabelecem-se e definem-se os sistemas e as respectivas fronteiras, bem como os objectivos, como por exemplo a optimização do tempo, a identificação dos cenários possíveis de fugas ou roturas que levem à perda de produção,

e a identificação dos mecanismos de degradação como a fadiga. São, também, nesta fase, definidos os regulamentos[8], as “ferramentas” a utilizar e a constituição da equipa multi-disciplinar.

3.2.4.2 Recolha e validação de dados

A recolha de dados deve englobar a mais diversa informação disponível. Os dados técnicos e informação contidos na documentação de projecto e fabrico, como as propriedades do material ou os esquemas e desenhos da instalação, no histórico de operação e no histórico de manutenção e inspecção são importantes para a avaliação da PoF e das CoF e por conseguinte do risco. A validação consiste na estimativa de que dados são realmente necessários para a avaliação. Os dados e resultados resultantes de outras metodologias de manutenção, como RCM, HAZOP ou QRA, podem ser considerados como um *input* para a análise RBIM.

3.2.4.3 Análise de risco multicritério

Na análise de risco, identificam-se os perigos bem como os modos de degradação e os modos de falha relevantes. É neste passo que se determina as CoF e as PoF e o consequente risco.

[8] Regulamentos de Segurança, Saúde e Ambientais.

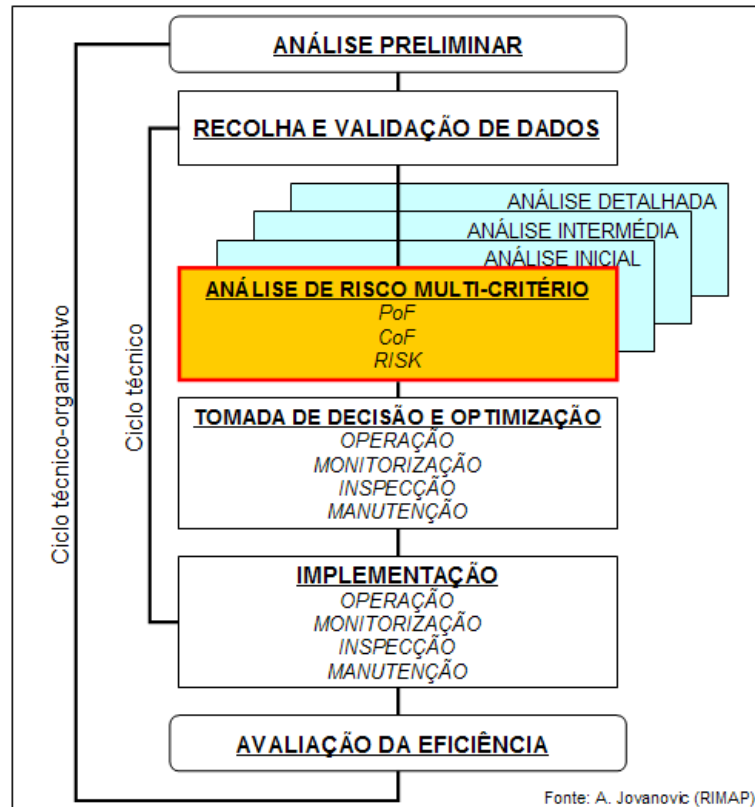



Figura 7 - Processo RBIM do projecto RIMAP.

Aqui efectuam-se três níveis de análise, a inicial (*screening*), a intermédia e a detalhada, conforme se olha para a instalação do todo para o particular, *top-down*. Da análise inicial para a detalhada diminuem o número de equipamentos a analisar e aumenta o detalhe da análise.

No RIMAP CEN *Workshop Document*, é apresentado um quadro, que se reproduz no Anexo B, onde são descriminadas as actividades, comuns e específicas, para as análises de risco multicritério inicial e detalhada. Em ambas, as tarefas principais são a identificação dos perigos, a identificação dos mecanismos de deterioração e dos modos de falha relevantes, a determinação das CoF e da PoF e a avaliação do risco. A análise inicial, comparada com a detalhada, é um procedimento simples e rápido. É adequada para problemas genéricos e quando se consideram poucos componentes.

Esta análise divide os componentes em dois grupos: os componentes de alto risco e os componentes de médio e baixo risco. O grupo de alto risco deve ser objecto da análise detalhada. Para o grupo de médio e baixo risco somente uma vigilância mínima pode ser

requerida para que os pressupostos efectuados durante a análise inicial permaneçam verdadeiros, como, por exemplo, a verificação do revestimento, interior ou exterior, ou o desempenho funcional. Caso se verifique que faltam dados e informação relativos aos equipamentos considerados de médio e baixo risco estes devem ser considerados de risco elevado e ser avaliados detalhadamente.

A análise detalhada é mais exigente, pois a avaliação é mais pormenorizada e com um maior volume de trabalho. Esta análise deve ser aplicada a sistemas e grupos de equipamentos de alto e médio risco, bem como aos componentes identificados na análise inicial como alto risco e aos não avaliados nesta. Os mecanismos de degradação devem ser reconhecidos e deve ser estimada a extensão dos danos sendo o desenvolvimento do mais provável determinado.

O intervalo máximo para a próxima inspecção ou manutenção, baseia-se nestes dados, deve ir de encontro com aos critérios de aceitação definidos de modo que os riscos sejam aceitáveis ao nível da Segurança, Saúde e Ambiental. Só então deverá ser combinado com os custos e eficácia da inspecção ou manutenção, sempre de forma a satisfazer os critérios de aceitação referentes à Saúde, Segurança e Ambiente.

Para a identificação dos mecanismos de degradação e modos de falha o projecto RIMAP, no RIMAP CEN *Workshop Document*, apresenta um diagrama para a identificação das causas de falha (figura 8), bem como a tabela de apresentação dos vários tipos de degradação em serviço e suas especificações e a tabela discriminativa dos métodos de inspecção e respectivas probabilidades de detecção, ambas apresentadas no anexo B, Tipos e especificações de degradações em serviço.

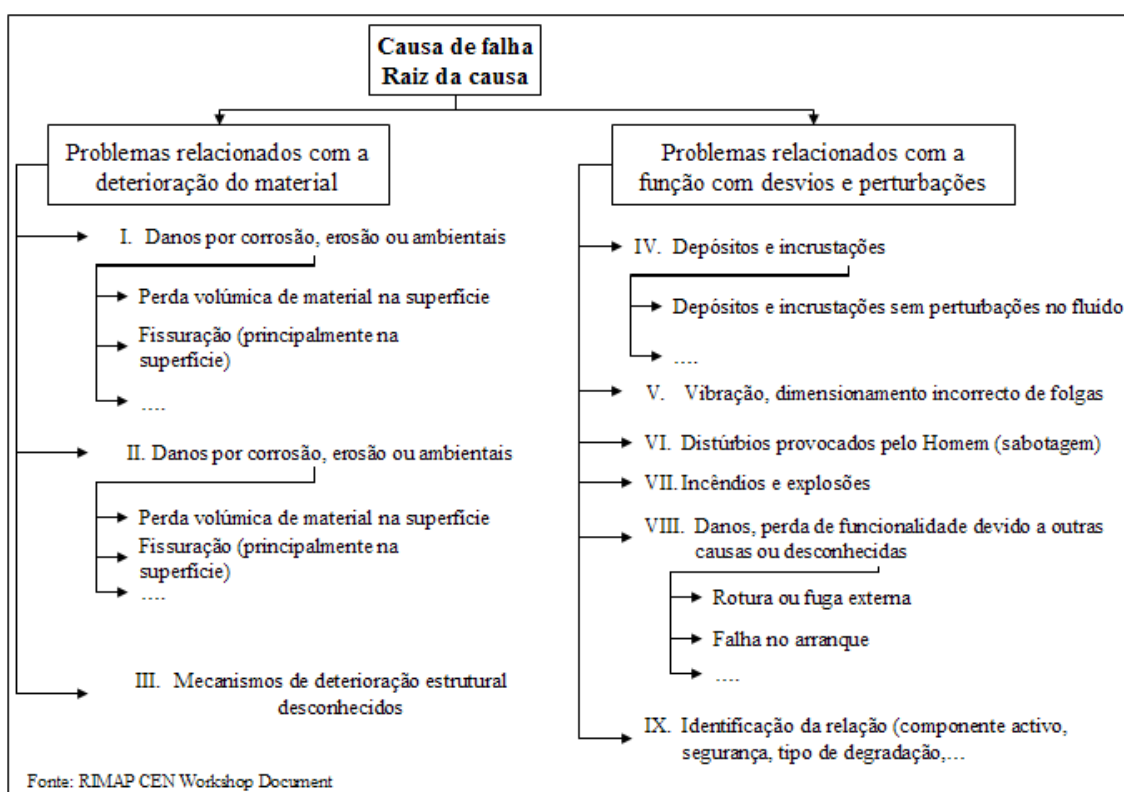



Figura 8 - Causa de falha.

A determinação da PoF e das CoF, atrás discutidas, deve ter em consideração todos os mecanismos de deterioração relevantes e assegurar que uma determinada consequência corresponde à probabilidade de falha correcta.

A avaliação dos riscos de Segurança, Saúde, Ambientais e económicos são determinados após a avaliação da PoF e CoF e apresentados numa matriz de risco, cujo exemplo se pode observar na figura 5. Cada risco deve ser apresentado em matrizes separadas.

3.2.4.4 Decisão e plano de acção

Um plano de acção consiste, principalmente, na revisão da operação e na avaliação da condição. Os programas de manutenção e inspecção surgem devido à fiabilidade dos equipamentos, como também devido a requisitos legais.

O projecto RIMAP propõe que este passo contenha dois níveis: o nível principal, cujo diagrama é exposto na figura 9, e o nível estratégico de manutenção e inspecção.

No nível principal, devem ser considerados os riscos para o pessoal durante a execução da estratégia de manutenção e inspecção, a oportunidade de eliminar as causas de falha e o risco de se introduzir novas causas de falhas, de modo a assegurar uma avaliação sistemática das necessidades das acções de manutenção, garantir coerência na avaliação entre os diferentes sistemas da instalação e simplificar a documentação das conclusões.

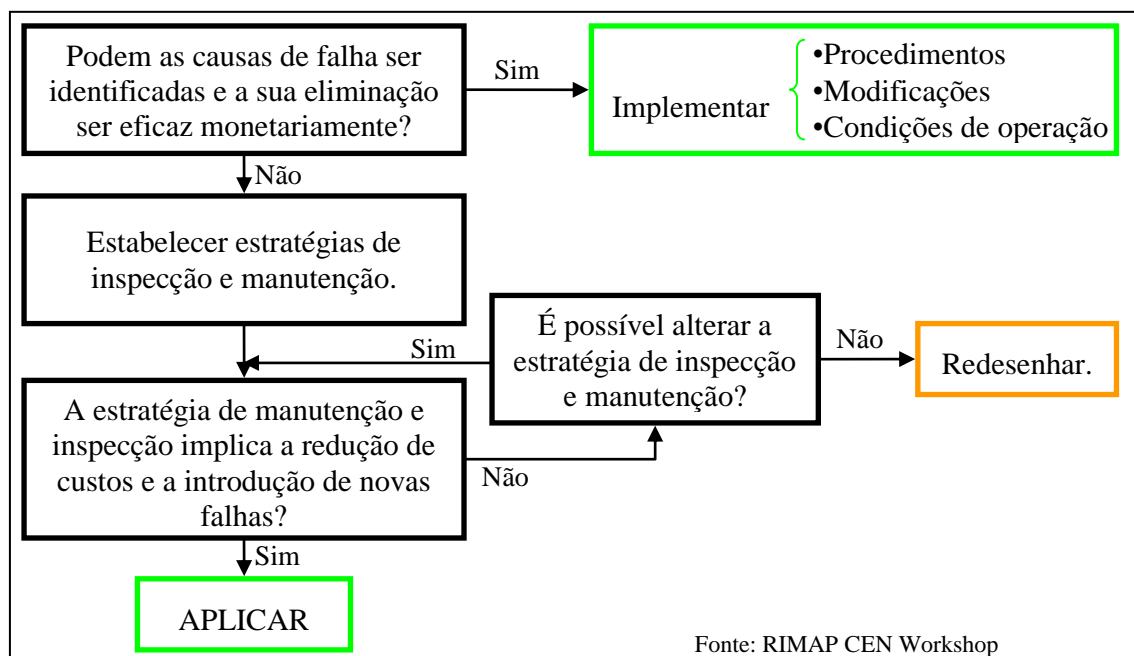



Figura 9 - Nível de decisão principal.

Após a determinação da estratégia de manutenção e inspecção, os métodos e os intervalos devem ser determinados de modo a garantir que o risco se mantém aceitável e os custos optimizados.

3.2.4.5 Implementação

Da decisão e plano de acção saem, através da avaliação de risco RBIM, as linhas directrizes das acções a serem implementadas. Estas devem conter a classificação do risco, o tipo de manutenção e inspecção a efectuar bem como os seus intervalos. Também devem constar os tipos de tarefa a executar e as competências necessárias para a sua elaboração e a dependência entre elas, a necessidade ou não da realização de paragens, quer parciais quer totais, e a necessidade de ferramentas e sobressalentes necessários.

Cabe à implementação executar as orientações de acordo com a estratégia de manutenção e inspecção através da execução de ordens de trabalho, de documentação de suporte, e efectuar o controlo do trabalho executado.

O projecto RIMAP usa, para as tarefas preventivas não recomendadas pelo método RBIM e para as tarefas correctivas, a selecção do trabalho baseado no risco (RBWS) motivado pela prática de que 40% das tarefas correctivas podem ser adiadas várias semanas. Assim a actividade RBWS avalia e selecciona o melhor "*timing*" para que essas tarefas sejam executadas, tendo em consideração que não se deve sobrepor à análise RBIM nem as adiar demasiado.

É aconselhável fazer uso de sistemas de gestão da manutenção informatizados (CMMS) contendo a estrutura da instalação, informação técnica, planos de manutenção, gestão das ordens de trabalho, relatórios de manutenção e análise. No contexto RBIM um CMMS deve conter um módulo de avaliação de risco.

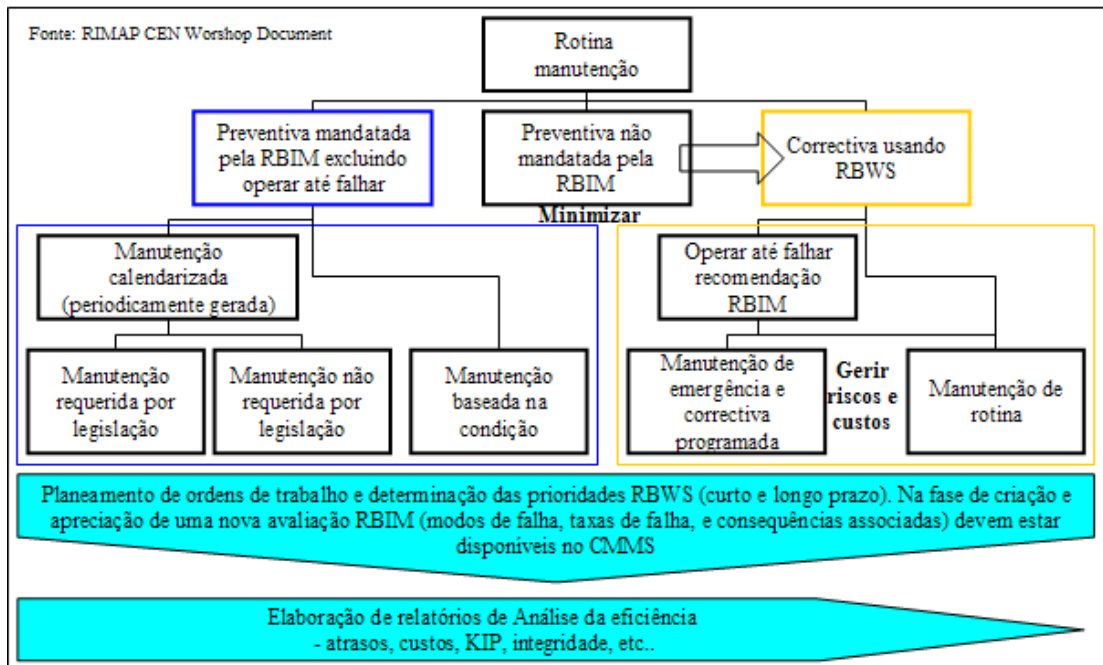



Figura 10 - Implementação - planeamento detalhado.

Os relatórios e documentos de trabalho produzidos devem conter o estado/condição do componente (tipo de degradação, dimensão dos danos) antes e depois da tarefa, custos de homem-hora, sobressalentes e ferramentas utilizadas, de modo a que essa informação possa ser utilizada em planeamentos futuros.

Os relatórios e documentos de trabalho bem elaborados permitem efectuar os relatórios de manutenção e inspecção na análise, de modo a serem identificados os atrasos nos trabalhos programados, equipamentos que laboraram sobre pressurizados, trabalho efectuado não planeado, fiabilidade dos sistemas de segurança, perdas relacionadas com a manutenção e "negociar" a disponibilidade, fiabilidade e integridade. Esta análise é revertida para a análise RBIM periodicamente para melhoramentos e possível redução dos riscos.

O resultado deste procedimento é que o risco de falha se encontra sobre controlo e reduzido a níveis aceitáveis, por ser gerido nos princípios baseados no risco.

3.2.4.6 Avaliação da eficiência

A intenção da avaliação do processo de tomada de decisão baseada no risco é avaliar a efectividade e o impacto dos programas de manutenção e inspecção, de modo a permitir a identificação de melhoramentos e modificações, com vista aos objectivos pretendidos, de Segurança, Saúde, Ambientais e Económicos.

O RIMAP refere ser necessário a definição de objectivos no processo de tomada de decisão e de indicadores de performance para aferir o grau de concretização dos objectivos.

Para a reavaliação do risco deve também existir informação relativa à instalação como alterações ou mudanças no projecto, operação, gestão e nível de formação dos funcionários, experiência operacional, resultados de inspecções e registos de manutenção.

Outro factor que pode influenciar ou permitir uma reavaliação de risco é a aquisição de novos conhecimentos como resultados de investigação ou desenvolvimento tecnológico, melhoramento nos processos de avaliação do risco, aplicação de métodos de inspecção mais avançados, actualização do histórico de falhas, novas descobertas na área dos mecanismos de degradação ou novos dados da efectividade da inspecção e ensaio.

Um processo de relatório/reporte é a utilização de indicadores chave de performance, KPI – *Key Performance Indicators*, (tabela 3) que devem reflectir os objectivos principais da instalação, que podem variar com o tempo.

Tabela 3 - Indicadores chave de performance, KPI.

Objectivos	KPI
Melhoria da Segurança e do Ambiente	Número de acidentes ambientais e de segurança
Aumento da utilização do componente	Efectividade geral do componente
	Taxa de utilização por unidade
	Utilização da instalação
Aumento do retorno do investimento	Retorno do capital investido
Aumentar as receitas provenientes dos activos	Fluxo da produção
Minimizar incidentes de segurança e ambientais	Incidentes de Segurança e Ambientais
	Acidentes por tipo, por hora do dia, por idade das pessoas, por horas de formação efectuadas, por supervisor, por unidade, por área.
Custos de redução de produção	Custo por unidade
Redução das despesas de manutenção	Custos anuais de manutenção / custo da substituição do componente
	Custo da manutenção
	Custo da ordem de trabalho através da média bimensal
	Custos da manutenção preventiva por tipo de equipamento
	Custos da manutenção preditiva por tipo de equipamento
	Custos não planeados em percentagem dos custos totais de manutenção

Para além deste procedimento, relatório KPI, o RIMAP propõe ainda os seguintes métodos: o processo de validação da eficiência e a reavaliação interna e externa.

O primeiro método consiste numa classificação de 1 a 5, respectivamente baixo e alto, para avaliação dos dados e informação, conhecimento, precisão, controlo, confiança entre outros parâmetros.

- Nível 1 – não satisfatório, melhoramentos necessários.
- Nível 2 – parcialmente cumprido, não aceitável.
- Nível 3 – melhorias necessárias.
- Nível 4 – de acordo com os regulamentos/legislação.
- Nível 5 – excelente, excede os regulamentos/legislação.

A reavaliação interna deve ser um processo activo e permanente e parte integrante de um procedimento RBIM no processo de tomada de decisão de risco global da instalação.

A reavaliação externa consiste numa auditoria, de uma entidade exterior à organização detentora da instalação, através de uma "visão" diferente e imparcial.

A integração da reavaliação interna e externa permitirá a identificação de melhoramentos necessários à gestão global da instalação, dos relatórios, à qualidade de trabalho, à definição e relatórios dos KPI e da eficiência.

A avaliação da eficiência permitirá analisar a estratégia de manutenção e inspecção através de relatórios periódicos realizados por auditoria interna, ou auditoria externa, lista de discrepâncias relacionadas com o expectável e suas causas, e propostas de melhoramentos.

Permitirá, também, a reavaliação do risco através de relatórios periódicos realizados por auditoria interna, ou auditoria externa, monitorização da operação, novos conhecimentos tecnológicos e propostas de melhoramentos.

3.3 Desvantagens [24]

Os programas RBIM podem ser dispendiosos ao implementar e manter, podendo impor uma carga pesada sobre os recursos da instalação devido ao volume e complexidade dos dados exigidos.

Os programas RBIM podem ficar aquém das expectativas na concretização dos benefícios devido à falta de envolvimento dos colaboradores ou à falta de compreensão desta metodologia.

3.4 Vantagens [21] [25]

A RBIM tem várias vantagens sobre as metodologias baseadas no tempo. Os intervalos das inspecções são baseados no risco associado ao equipamento e assim despender mais

tempo onde o risco é mais elevado e, por outro lado, menos tempo onde se verifica que o risco é baixo. Com esta metodologia, os equipamentos com um histórico sem problemas ou que não sejam previsíveis são inspeccionados em intervalos mais longos em vez de o serem em espaços temporais mais curtos, definidos por um programa de manutenção baseado no tempo.

Os dados obtidos na inspecção de um determinado equipamento ou componente, podem ser utilizados para determinar os intervalos de inspecção em equipamentos ou componentes similares. Por exemplo, se a inspecção a esse equipamento não revelar qualquer problema, esta informação pode ser utilizada na avaliação de risco e assim aumentar-se os intervalos de inspecção em todos os equipamentos idênticos, reduzindo os custos.

Ao focar os esforços de inspecção somente para onde e quando são necessários existe uma redução eficiente dos riscos.

A inspecção já não conduz ao encerramento das unidades. A maioria dos equipamentos pode ser inspeccionada durante uma paragem por razões de manutenção no processo, como *overhaul* ou limpeza entre outros, tirando partido da oportunidade que essas paragens oferecem, aumentando a disponibilidade da instalação bem como a optimização das reparações e substituições.

A utilização da metodologia RBIM melhora significativamente a gestão da Segurança, Saúde e Ambiente.

Não existem grandes diferenças entre o que propõem Patel e o projecto RIMAP. Patel apresenta um diagrama simplificado, não abordando a análise preliminar e a avaliação da eficiência, podendo ser considerado equivalente ao que o RIMAP identifica como ciclo técnico, embora menos detalhado. Patel é, assim, um bom ponto de partida para o estudo do processo RBIM.

Resumidamente a metodologia RBIM permite a avaliação e desenvolvimento de programas de inspecção de instalações, complexos industriais, parque de reservatórios de combustíveis, entre outros, tendo por sustentação os registos de acções de manutenção anteriores, e a informação constante dos manuais do fabricante de cada um dos componentes que o constituem. A RBIM baseia-se na análise e avaliação de cada

componente das instalações, orientando os resultados obtidos para a sua manutenção, através da avaliação das consequências (danos ao ambiente, saúde pública, danos no próprio equipamento, perda de produção, etc.) e avaliação da probabilidade de falha identificando os mecanismos de falha (corrosão, fadiga, etc.) finalizando com a avaliação de risco (e.g. matriz de risco).

Esta análise e avaliação dos registos, permite identificar os componentes com mais "necessidade de cuidados" de modo a serem definidos o tipo de manutenção e o tipo de periodicidade conveniente. Deve ser contínua, isto é, devem ser efectuadas análises/avaliações periódicas/regulares de modo a reavaliar as acções de manutenção sempre com o objectivo de melhorar a segurança e a fiabilidade bem como a diminuição de custos.

Assim na RBIM os recursos dispendidos são mais reduzidos, pois é uma metodologia baseada em indicadores e objectivos. Aumenta a segurança e a fiabilidade das instalações e reduz os custos, através da redução dos tempos de paragem diminuindo, assim, as perdas de produção e as acções de manutenção e reparação desnecessárias.

4 RBIM vs RCM

Numa análise mais profunda, verificou-se que existem bastantes semelhanças entre o entre a RBIM e a Manutenção Centrada na Fiabilidade, RCM, principalmente na matriz de risco, na FMECA e na árvore de falhas. O projecto RIMAP, na definição do procedimento do processo no âmbito do sistema de gestão global, contempla actividades RCM para, paralelamente à avaliação RBI, proceder à análise de risco multicritério.

Assim importa verificar as diferenças e semelhanças que existem entre estes dois métodos, iniciando, para isso, uma abordagem à RCM, essencialmente, porque uma das filosofias de manutenção actualmente na aeronáutica, a MSG-3, tem como base os conceitos "*top-down*" do RCM.

4.1 RCM

A indústria aeronáutica provou que o *overhaul*[9], na grande maioria dos casos, não gerava alterações na segurança nem na fiabilidade. Ficou provado também que os limites, para a Revisão Geral, não eram baseados em processos analíticos e traziam elevados custos para baixos benefícios.

Outros factos, como a reintrodução das falhas por "mortalidade infantil" e a perda considerável da "vida útil" levaram ao estudo e aplicação do conceito *RCM*.

Este tipo de Manutenção surge em 1968, durante a segunda geração da Manutenção, e tem evoluído deste então.

4.1.1 Conceitos e terminologia

Começaremos por proceder à definição de alguns conceitos e da terminologia utilizados na *RCM*. Em primeiro lugar trataremos os termos relacionados com falhas seguindo-se a introdução dos conceitos de Consequência, Probabilidade de Falha e Risco. O conceito

[9] Ver nota na página 2.

de fiabilidade será descrito posteriormente, terminando com os termos associados à Manutenção.

4.1.2 Falhas

Falha Funcional – é a incapacidade de um determinado equipamento realizar uma função dentro dos limites específicos de funcionamento.

Falha potencial – é a condição que indica que uma avaria funcional ocorrerá.

Modo de falha – é a condição física específica que causa uma falha funcional particular.

4.1.3 Consequências

Consequência consiste na definição de categorias interligadas ao modo de avaria e os potenciais impactos que poderão ocorrer. Assim a consequência está classificada em quatro categorias: catastrófica, crítica, marginal e baixa.

No quadro que se segue estão exemplificadas estas categorias.

Tabela 4 - Quadro de consequências RCM.

CATASTRÓFICA (categoria I)	**MARGINAL (categoria III)**
Morte ou ferimentos graves. Impacto ambiental significativo. Perda de operacionalidade> 1 semana. Estragos > 1 Milhão de €	Perda de operacionalidade> 4 horas e <24 horas. Estragos> 10 Mil € e <$100 Mil €.
CRÍTICA (categoria II)	**BAIXA (categoria IV)**
Ferimentos ligeiros. Perda de operacionalidade > 24 horas e <7 dias. Estragos > 100 Mil € e < 1 Milhão de €.	Perda de operacionalidade <4 horas. Estragos <10Mil €.

4.1.4 Probabilidade de Falha

1. *Probabilidade de Falha:* a probabilidade de um determinado modo de falha ocorrer durante um determinado período.
2. *Probabilidade de Falha Aceitável*: a probabilidade de um determinado modo de falhar ocorrer durante um determinado período, que é aceitável à gestão do programa ou equipamento.
    - Quanto mais severas forem as consequências mais baixa deverá ser a aceitação.
    - Os limites devem se definidos por organizações reguladoras ou auto impostas pelo programa de Manutenção.
    - Os limites devem ser documentados antes da análise.
3. *Probabilidade de Falha Real*: a probabilidade de um dado modo de falha ocorrer, prevista ou demonstrada, durante um período definido em ambiente operacional. Esta probabilidade pode ser medida com dados recolhidos em funcionamento ou pela distribuição estatística de falhas.

4.1.5 Risco

Risco é a combinação das consequências da falha com a frequência ou probabilidade de falha, conhecida como Matriz de Risco. A Matriz de Risco já abordada no capítulo 3.

4.1.6 Fiabilidade

Fiabilidade é a probabilidade de um determinado equipamento em realizar a função, para que foi construído, num período de tempo específico e debaixo de condições de operação específicas.

Fiabilidade engloba o projecto de função do equipamento, o processo de manufactura, o modo funcionamento, o ambiente operacional e o programa de manutenção.

4.1.7 Manutenção

4.1.7.1 Manutenção Preventiva

Manutenção Preventiva (*PM - Preventive Maintenance*): consiste nas acções efectuadas periodicamente ou continuamente antes que uma falha funcional ocorra e para que se encontre o nível desejado de segurança e fiabilidade do equipamento. Estas acções são efectuadas para prevenir ou reduzir as consequências produzidas por uma falha.

A Manutenção Programada pode ser efectuada de diferentes modos e técnicas. A *PM* é uma Manutenção que é programada juntamente com a Manutenção pró-activa, daí optar-se pela designação de Manutenção Preventiva quando se focar qualquer tipo de Manutenção Programada.

4.1.7.2 Manutenção Correctiva

A reparação ou correcção, de um equipamento ou sistema, após a ocorrência de uma anomalia ou falha, é um tipo de Manutenção não programada, e é conhecida como Manutenção Correctiva (*CM - Corrective Maintenance*).

Outro tipo de Manutenção não programada é a Manutenção Reactiva, ou seja, muito similar à *CM*, por isso quando se abordar estes dois tipos de Manutenção não programada será sempre referido como *CM*.

4.1.7.3 Avaliação de Condição

A Monitorização da Condição faz uso de equipamentos específicos para medir a condição do equipamento. Exemplos de técnicas de controlo da condição dos equipamentos são a análise vibracional, análises de óleos ou a termografia. Também trata equipamentos estáticos através de planos de inspecção e ensaio, com as ilações que daí possam advir.

A Gestão do Prognóstico de Saúde *PHM* e a Manutenção “Preditiva” são dois tipos de Manutenção em que o controlo da Condição é uma ferramenta fundamental.

4.1.7.4 Manutenção Baseada na Condição

É uma estratégia de manutenção baseada no controlo da condição de modo a prever quando um determinado equipamento irá falhar e efectuar uma acção correctiva apropriada antes dessa falha ocorrer, evitando assim as consequências.

4.1.7.5 Manutenção Condicionada ou de Oportunidade

São acções de Manutenção resultantes de uma condição específica ou como resultado de circunstâncias ou eventos específicos que provoquem alterações no decurso normal dos trabalhos ou equipamentos.

As circunstâncias que levam a que se accione este tipo de Manutenção têm a ver com condições inopinadas que resultam por exemplo de uma desmontagem não programada, ou do desligar de um equipamento, quer seja programada ou não programada. Por exemplo, na aviação, uma Manutenção Condicionada decorre quando uma aeronave tem uma aterragem forçada, sendo então necessário efectuar uma acção de manutenção. Outro exemplo será quando exista um corte de energia eléctrica, sendo nessa altura efectuada a Manutenção.

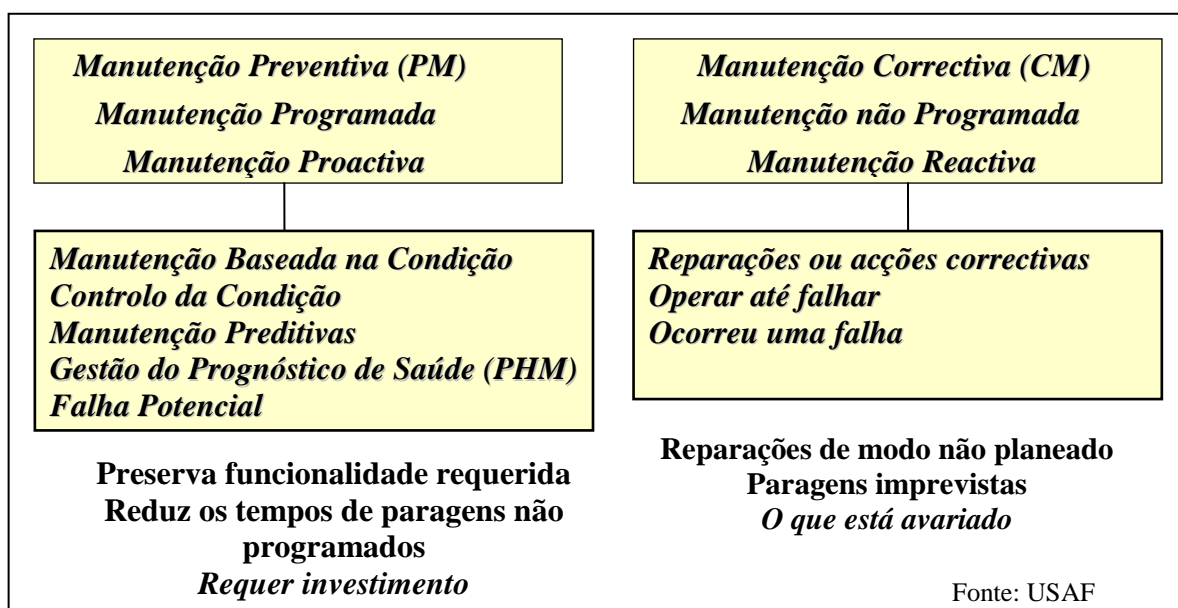



Figura 11 - Manutenção planeada vs Manutenção não planeada.

Resumidamente, a RCM determina o balanço entre a Manutenção planeada e não planeada juntamente com outras acções, de modo a estabelecer uma estratégia de gestão de falhas.

4.2 Benefícios da RCM

Quando executada correctamente a RCM maximizará a segurança e a saúde ambiental.

Dependendo do objectivo, a RCM contribuirá para reduzir os custos das revisões gerais, o *overhaul*, melhorando a fiabilidade e a disponibilidade.

Outros dos benefícios consiste no rastreio documental de todos os procedimentos de modo a poder-se efectuar alterações ao programa de Manutenção que minimizem os custos, promovendo o melhoramento da performance do equipamento e do programa de manutenção.

Assim, a RCM deve ser usada para determinar falhas iniciais na gestão das estratégias incluindo *PM*, e modificar falhas existentes nessas mesmas estratégias de modo a optimizar a manutenção.

4.3 O processo RCM

Segundo NAVAIR 0-25-403, o programa RCM é constituído por quatro[10] fases[11] básicas:

- Preparação e Planeamento;
- Análise inicial;
- Implementação dos resultados;
- Sustentação da Análise.

[10] *Robert M. Conachey do American Bureau of Shipping, Houston, USA no ABS TECHNICAL PAPERS 2004 Development of RCM Requirements for the Marine Industry* identifica o processo *RCM* como sendo um conjunto de dez passos. J. L. Alkaim, na sua tese identifica-o como tendo como directrizes sete passos. A publicação *MIL-STD-*2173(AS), assim como a *NAVAIR 0-25-403*, agrupam os requisitos em quatro grupos, os quais foram adoptados.
[11] Também designadas por elementos básicos.

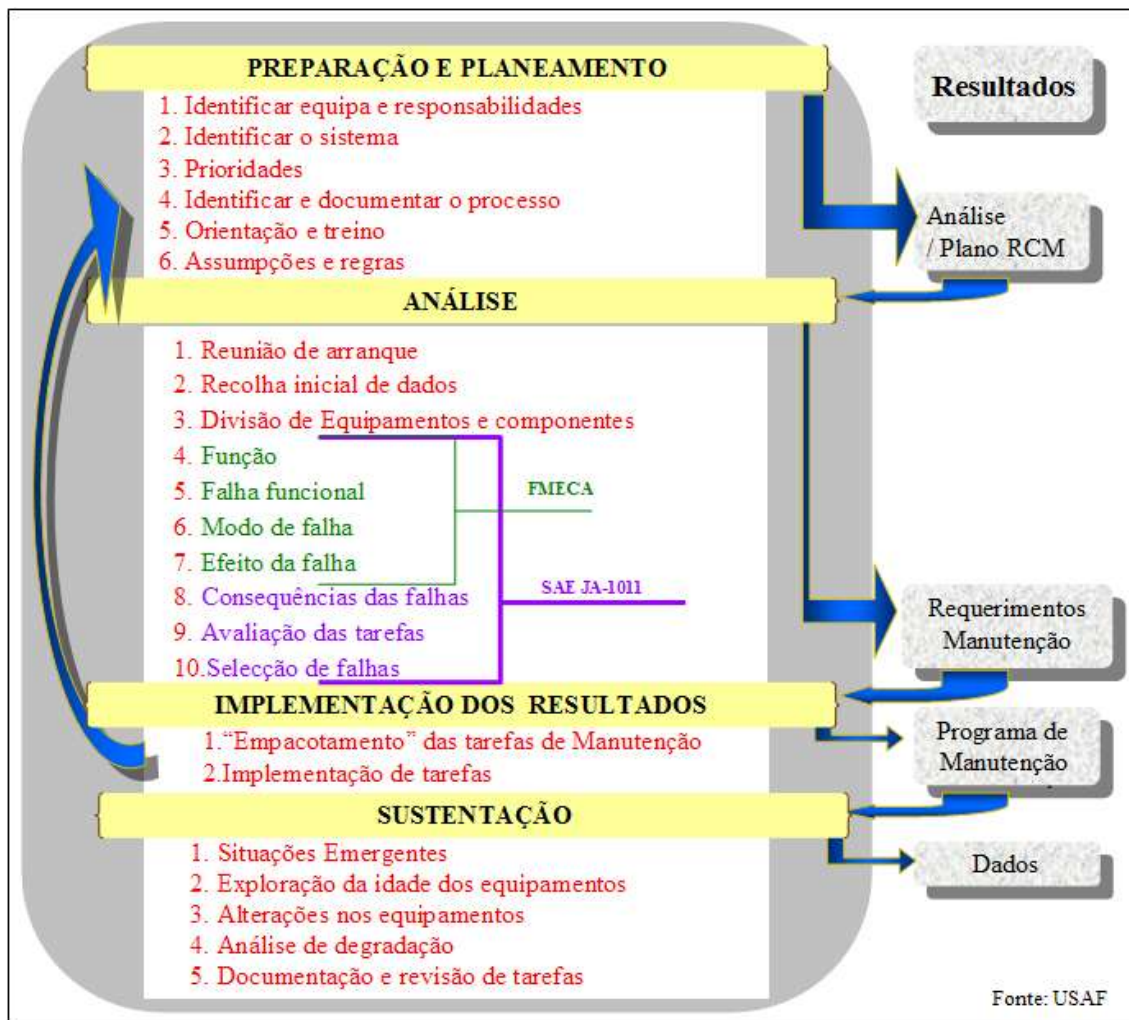



Figura 12 - Processo RCM.

4.4 Preparação e Planeamento

Na Preparação e Planeamento, identifica-se e resolve-se questões ou requisitos antes de se iniciar a fase da análise. É nesta primeira fase que se deve orientar as preocupações para as seguintes questões:

Quem? - O quê? - Como? - Quando? - Com que recursos? – Em ordem a…?

Para que estas questões ou requisitos sejam reconhecidos deve-se seguir um algoritmo de sete passos.

1. Identificar a equipa RCM e as suas responsabilidades.

a. A composição da equipa poderá ser constituída, por exemplo, do seguinte modo:

   Operadores, pessoal da Manutenção, consultores de Logística e Engenharia, consultores de Segurança, analistas RCM e Gestor do Projecto.

b. A definição das responsabilidades deve incluir o suporte das regras, a análise documental, a recolha de dados, a revisão e aprovação, finalizando com a implementação.

c. A interface e a acessibilidade da equipa.

d. Análise da estrutura do programa.

2. Identificar o sistema[12].

   a. Listagem de todos os componentes ou equipamentos, item por item.

   b. Se necessário criar fronteiras.

   c. Ser específico na identificação.

3. Análise das prioridades, isto é, regular a ordem dos equipamentos ou tarefas a efectuar, não significando que uma tarefa não se possa iniciar antes de outra ter terminado.

4. Identificar e documentar o processo de revisão e aprovação.

   a. Definir de quem são as responsabilidades de revisão e aprovação em cada análise.

   b. Se as revisões serão formais ou informais, ou ainda em grupo ou individuais.

   c. As revisões e aprovações devem incluir o consultor de RCM e um específico do assunto em revisão e aprovação.

5. Orientação e treino com o objectivo de se iniciar o processo e remover alguma “resistência” potencial.

[12] Por exemplo, é considerado um sistema um sector fabril, uma aeronave, um automóvel, etc.

a. Nesta etapa deve estar englobado todo o pessoal afectado pelo processo, devendo estar incluídos todos os elementos desde os operadores aos gestores.

b. Deve conter os tópicos dos passos anteriores, uma panorâmica geral do processo, o que cada um deve fazer e o que se espera.

6. Assumpções e regras.

a. Compilação da informação requerida para se efectuar a análise, incluindo a descrição do ambiente operacional, procedimentos padrões de operação, fontes de dados, modos de falha métodos analíticos, métodos de análise custo/benefício, probabilidade de falha aceitável, razões de trabalho e razões de utilização de equipamentos.

4.4.1 Plano de Programa RCM

O projecto RCM deve inserir um documento com os resultados do planeamento num plano de programa *RCM*.

A dimensão e as linhas mestras do plano dependem do projecto. Este deve assegurar a consistência da análise do processo, estabelecer calendários e prioridades.

São elementos de um plano de programa RCM os seguintes:

- Equipa e responsabilidades (passo 1);
- Análise, o quê e em que ordem (passos 2 e 3);
- Revisão e aprovação do processo (passo 4);
- Treino (passo 5);
- Regras (passo 6);
- Sustentação dos procedimentos de tarefas;
- Matriz de risco;
- Medições e relatórios.

4.5 Análise inicial (análise RCM)

A fase de análise inicia-se assim que o sistema esteja seleccionado e o trabalho de base esteja efectuado. Esta é constituída pelos seguintes passos:

1. Reunião de arranque para a escolha dos equipamentos, componentes e materiais.
2. Recolha inicial de dados.
    a. Para que o trabalho de análise se processe com maior rapidez, deve-se recolher ou adquirir publicações técnicas, registos, esquemas técnicos, ou outros documentos relacionados com o sistema em estudo.
3. Divisão dos equipamentos que fazem parte do sistema. Consiste na divisão hierárquica[13] dos sistemas, progressivamente em níveis mais baixos, para identificação das relações entre sistemas, subsistemas, equipamentos e componentes, como se exemplifica na ilustração que se segue.

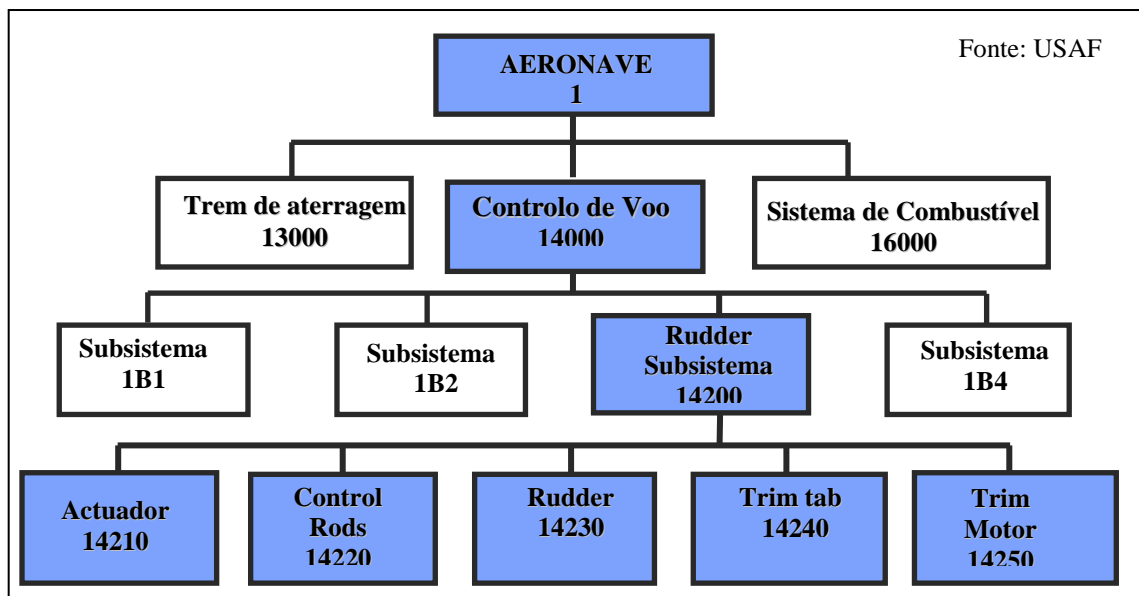



Figura 13 - Divisão hierárquica dos sistemas.

Na divisão pode ser utilizado um esquema lógico qualquer, podendo ser o estipulado pelo manual de manutenção ou operação, através dos limites físicos,

[13] Hardware breakdown

ou ainda pelos códigos das unidades de trabalho, desde que sejam considerados os aspectos como a necessidade de uma divisão física, a forma como as falhas são registadas, a identificação clara onde um sistema acaba e o outro se inicia. Deve também ter um sistema de numeração que identifique cada sistema, assim como cada subsistema e as relações existentes.

Esta divisão serve para definir, de modo unívoco, as fronteiras para que não exista confusão sobre o que deve ser ou não incluído na análise.

4. *FMECA – Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*.
   a. Consiste na determinação das funções, das falhas funcionais, dos modos de falha, dos efeitos e das razões de falha, e da frequência da ocorrência, para a análise do sistema ou equipamento.
      i. Função é o que o utilizador espera do equipamento ou componente. Por exemplo, uma bomba hidráulica tem por função fornecer fluido hidráulico a 3000 PSI com uma tolerância de ± 200 PSI.
   b. Falha funcional consiste na incapacidade de um determinado equipamento ou componente operar dentro dos limites especificados.
      i. Por exemplo, a bomba hidráulica de 3000 PSI estar a fornecer fluido hidráulico a uma pressão de 2790 PSI quando a tolerância é de ± 200 PSI.
   c. Modo de falha é uma condição física específica que provoca uma falha funcional.
      i. É exemplo de um modo de falha uma fissura causada por fadiga.
   d. Efeito da falha é o resultado que o modo de falha e a falha funcional provocam nos componentes à sua volta, em termos de capacidade operacional e de potencial perigo para pessoas e ambiente.
5. Consequências das falhas.
   a. A consequência da falha é o impacto que a falha tem na segurança, na operação e no ambiente, e quando esta falha é evidente para o operador.

Quando as consequências de uma falha requerem atenção, o objectivo da RCM é o seu controlo ao evitar ou reduzir a sua frequência e severidade.

b. As consequências mais usuais de falhas podem, normalmente, ser encontradas nos manuais de operação/manutenção, relatórios de perigo, acidente ou incidente, investigações de falha, entre outras fontes.

c. As consequências de falha são categorizadas em dois grupos (figura 14):

   i. Evidente ou invisível.

      1. Evidente é uma falha que, por si só, é aparente para o operador em condições normais.

      2. Invisível é uma falha que não é aparente para o operador em condições normais.

   ii. Segurança e Ambiente ou Operacional e Económico.

d. Estes dois grupos combinam-se em quatro categorias:

   i. Evidente Segurança e Ambiente.

   ii. Invisível Segurança e Ambiente.

   iii. Evidente Operacional e Económico.

   iv. Invisível Operacional e Económico.

Figura 14 - Avaliação de tarefas de manutenção dependente das consequências.

Avaliação das tarefas:

e. Determinação de acções que podem ser tomadas para prevenir a ocorrência de um modo de falha, e, caso não se consiga prevenir, para diminuir os seus efeitos até um nível aceitável.

f. Exemplo de tarefas:

   i. *S (Tarefas de Serviço)* – reposição de materiais consumidos durante funcionamento normal.

   ii. *L (Tarefas de Lubrificação)* – substituição de lubrificante baseado nas directivas do fabricante.

   iii. *OC (Controlo da Condição)* – inspecções periódicas ou contínuas para a detecção de condições de ocorrência de uma potencial falha antes de esta se poder tornar numa falha funcional.

   iv. *HT (Hard Time)* – remoção calendarizada de um componente.

   v. *FF (Pesquisa de Avaria)* **–** acção de manutenção para localizar onde ocorreu uma falha funcional invisível.

6. Selecção das tarefas.

   a. A selecção de tarefas engloba acções de *PM* para a redução da probabilidade de falha para um nível aceitável. A selecção pode aceitar a decisão da ocorrência de um modo de falha, ou outras acções não *PM*, dependendo do custo de manutenção versus custo de não produção.

4.6 Implementação dos resultados

Após terminada a fase de análise, a implementação dos resultados fornece a lista de tarefas e recomendações de manutenção.

Para se tirar rendimento das recomendações e da lista de tarefas, estas têm que ser inseridas num programa de manutenção eficiente e coerente. O procedimento de inserção das recomendações e lista de tarefas de manutenção denomina-se "empacotamento".

4.7 Sustentação da análise

Como em qualquer outro processo, uma grande parcela das vantagens da RCM consiste na monitorização e no contínuo melhoramento formal do processo *RCM*. Na sustentação da análise define-se planos para monitorização e melhoramento do programa de manutenção ao longo da vida do sistema ou equipamento.

A análise inicial pode ter que ser actualizada devido a assumpções incorrectas no início do plano, alterações ou modificações nos equipamentos, falhas não esperadas ou alterações no ambiente operacional. Assim, o objectivo da sustentação do processo é monitorar e optimizar o programa de modo contínuo, através da eliminação de intervalos e requerimentos desnecessários, registando novos modos de falha e identificando a oportunidade para a inserção de novos procedimentos de manutenção, novas técnicas, novas ferramentas e alterações de design.

Existem duas aproximações à sustentação: a contínua e a revisão periódica.

É recomendada a contínua, pois tem uma resposta mais rápida a novas solicitações, onde a RCM se torna o procedimento mais adequado.

As revisões periódicas podem ser utilizadas em solicitações mais importantes. Este método tem como desvantagens a possível perda do registo histórico, e pode levar a que a sustentabilidade se estagne. Por estas razões sugere-se que só seja utilizado se a sustentação contínua não for possível.

Tarefas típicas da sustentação:

- Resolução de situações emergentes;
- Exploração da idade dos equipamentos ou componentes;
- Alterações nos equipamentos ou introdução de novos equipamentos no sistema;
- Análise de degradação;
- Documentação e revisão das tarefas.

Um programa RCM deve estabelecer um processo que lide com situações emergentes e com eventos imprevistos.

O processo pode variar de Organização para Organização, mas deve sempre ser documentado. Na figura 15 podemos observar um esquema lógico de um processo *RCM*.

Estabelecer Equipa Desenvolver Plano RCM

Esquematização da Manutenção e análise suplementar

Efectuar Análise RCM

Feedback dos operadores manutenção

Identificar outras acções

Identificar requerimentos PM

Identificar tarefas

Identificar não PM

Implementa-ção de outras acções

"Empacotamen-to" e Requerimentos de Manutenção

Especificaçõe s de fabricante e desenvolvime nto de tarefas

Sustentação e execução RCM

Análise e requerimento s de actualização

Figura 15 - Diagrama lógico de um processo RCM.

4.8 Comparação RBIM / RCM [26] [27]

A metodologia RCM é predominantemente usada para determinar os tipos de manutenção (*S*, *L*, *OC*, *HT* ou *FF*) mais apropriados, através de diagramas lógicos baseados nos mecanismos de falha e suas consequências. Este tipo de método está virado para actividades de manutenção na área da Mecânica, Civil, Electrotécnica e Instrumental, sendo aplicado na revisão das actividades ou tarefas aplicadas de modo a manter a função e disponibilidade do equipamento.

Os benefícios deste tipo de análise residem na redução dos custos, resultante das tarefas de manutenção pró-activas baseadas na actual/verdadeira experiência de funcionamento, e em "melhores práticas" comprovadas. Estas tarefas são seleccionadas para optimizar a fiabilidade global, disponibilidade e rentabilidade da unidade de processo mediante a transferência da manutenção reactiva para uma manutenção mais pró-activa, reduzindo os custos das revisões gerais. Outro dos benefícios reside no rastreio documental de modo a efectuar alterações ao programa de manutenção que minimizem os custos, promovendo o melhoramento da performance do equipamento e do programa de manutenção.

Esta metodologia é uma súmula de questões: *Quem? - O quê? - Como? - Quando? - Com que recursos? – Em ordem a…?*, que necessitam de ser respondidas de modo a determinar que tipo de manutenção é mais apropriada. No entanto, cada modo de falha é tratado individualmente, podendo não se conseguir "ver" alguns efeitos combinados importantes entre modos de falha.

A RBIM é uma metodologia de avaliação sistemática da criticidade de um componente ou instalação, e da escolha apropriada de métodos de monitorização da condição. Está centrada no processo de hidrocarbonetos e em equipamentos sobre pressão, incluindo tubagens, focalizada para as características dos materiais e para os mecanismos de deterioração, como por exemplo a corrosão, estando a ser adoptada em outras indústrias ou equipamentos (e.g. geradores eólicos).

O seu ponto forte reside na natureza da avaliação, através da visão do risco como sendo o produto da PoF e das CoF, e da quantidade de dados técnicos disponíveis sobre taxas de corrosão, propriedades dos materiais e métodos de inspecção.

No entanto, manifesta-se relativamente fraca na determinação de custos com inspecções ou na monitorização da condição, e na apresentação de alternativas de tratamento de risco, pontos em que a RCM é forte.

Como se pode verificar na figura 16, o procedimento RIMAP coloca as duas metodologias ao mesmo nível na determinação do risco, mostrando que ambas se centram sobre o cenário, as PoF, as CoF e o risco. No que respeita ao cenário, a *RCM* está virada para o nível funcional enquanto a RBIM para o nível estrutural.

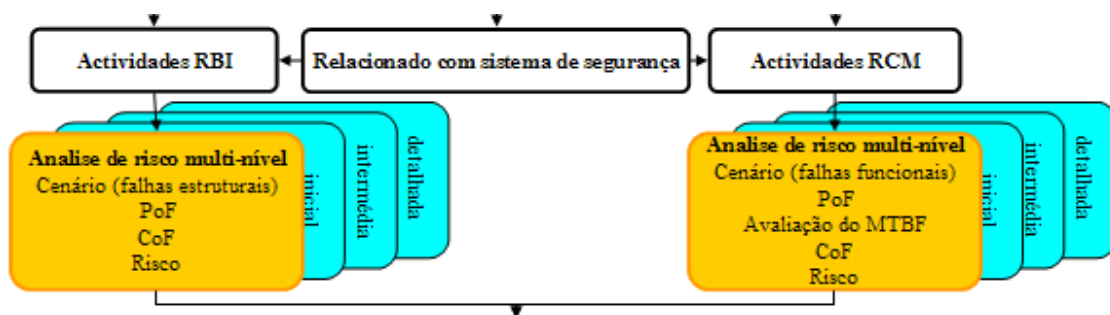



Figura 16 - RCM vs RBIM.

Para além da diferença relativa ao cenário, a RCM tem também em consideração a avaliação do tempo médio entre falhas (MTBF), que, por demais conhecido, está relacionado com a avaliação da probabilidade de o equipamento ou componente reparável falhar.

Ambas metodologias requerem uma equipa de especialistas e utilizam diagramas lógicos, como HAZOP, FMECA, árvore de falhas, entre outros, para a identificação de falhas e anomalias.

5 Modos de Degradação e Ensaios Não Destrutivos

Todas as instalações estão sujeitas a um ou mais mecanismos de deterioração, ou à combinação de vários. Para a sua detecção são aplicados métodos não intrusivos, os conhecidos Ensaios Não Destrutivos (END).

Não é o objectivo desta dissertação descrever os mecanismos de degradação, como os constantes na norma API 579 *Recomended Practice for Fitness for Service*, nem dos END, mas sim dar uma panorâmica dos tipos de degradação a que estão sujeitas as instalações onde o petróleo e seus derivados são processados e, no nosso caso, armazenados e distribuídos.

Antes porém, toma-se a liberdade de resumir as 11 secções constantes da API 579, uma vez que 9 estão especificamente direccionadas para os modos de degradação.

A secção 1 fornece uma introdução, definindo-se, na secção 2, os procedimentos de Engenharia para avaliação da adequação para o serviço (FFS- *Fitness For Service*). A metodologia de avaliação FFS fornece orientações para as condições de funcionamento de equipamentos utilizados nas indústrias petrolíferas e químicas. A decisão de reparar ou substituir um determinado componente contendo uma falha é garantida seguindo o método apresentado na API 579. Desta forma, o funcionamento em segurança é verificado através dos códigos de inspecção providenciados pela norma.

Das secções 3 à 11, a API 579, contém os procedimentos referentes às avaliações para equipamentos à fractura frágil, perda geral de metal, perda de metal localizada, corrosão por *pitting*, falhas laminares e bolhas, desalinhamentos de soldadura e distorção em concha, falhas tipo *crack*, componentes ou equipamentos a operarem na zona de fluência (*creep*), e danos provocados pelo fogo.

No *RIMAP CEN Workshop Document* é apresentada uma árvore de causa de falhas, já referenciada na discussão Análise de Risco Multicritério (figura 8), onde se identificam os mecanismos de degradação relevantes.

Os problemas relacionados com os danos de material, a perda de volume e fissuração superficiais, derivados de modos de degradação corrosão, erosão e ambientais, são agregados constituindo-se como grupo principal ou “primário”. As cargas mecânicas ou termo-mecânicas, como o desgaste, alterações dimensionais, fissuração ou micro

fissuração, constituem um segundo grupo, considerando-se ainda mecanismos estruturais desconhecidos.

Segundo o RIMAP, os problemas referentes à função, desvios ou distúrbios, podem ser causados por depósitos e incrustações, vibração devido ao dimensionamento incorrecto de folgas, provocados por acção do homem, como a sabotagem, incêndios e explosões, ou ainda danos e perdas de funcionalidade devido a outras causas ou desconhecidas.

O projecto RIMAP apresenta, num quadro que se reproduz no anexo C, os tipos e especificações de deteriorações em serviço, e os END mais eficazes para as detectar. Apresenta, também, um quadro contendo uma descrição dos tipos de deterioração e seus mecanismos, fazendo-os corresponder com os respectivos processos de detecção de descontinuidades, isto é, com os END.

Relativamente aos END identifica os processos de detecção que melhor se adequam aos tipos de deterioração, e, de entre estes, destaca os que são mais rentáveis.

Os END mais conhecidos consistem na utilização de líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografia e ultra-sons, correntes de *Eddy*, sem esquecer a inspecção visual. Cada um destes END tem características determinadas que os torna mais eficientes na detecção de certos tipos de defeitos e piores na detecção de outros. Por exemplo, o END de partículas magnéticas é um bom ensaio para a detecção de falhas superficiais em materiais ferrosos devido às suas características magnéticas quando sujeitos à magnetização, mas não tem qualquer efeito em materiais não ferrosos, para os quais o melhor método é o END por líquidos penetrantes, também eficaz em materiais ferrosos. Dependendo do tipo de deterioração, há que seleccionar o melhor ensaio para a detecção dos defeitos existentes na instalação ou num dos seus componentes.

6 Descrição das Instalações

A Força Aérea Portuguesa (FAP), devido à sua especificidade enquanto ramo da Defesa Nacional, com missões de interesse público nacional e outras que envolvem cumprimento de acordos internacionais, tem em diversos pontos no país, instalações que albergam aeronaves, sendo designadas por Bases Aéreas.

Ilustração 1 - Instalações, vista aérea.

Estas instalações, para garantir a operacionalidade, possuem vários tipos de sub-instalações que devem estar em conformidade com as normas vigentes, quer nacionais, quer ao abrigo da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO).

Estas normas aplicam-se igualmente ao armazenamento de combustíveis para aeronaves. Neste caso concreto, tratam-se de depósitos atmosféricos, enterrados, onde é feita a armazenagem de combustível de aeronaves.

6.1 Instalação

A instalação de depósito, aqui descrita, foi construída em 1992 de acordo com o "*Jet Fuel Storage and Dispensing Systems for Tactical and Wide Body Aircraft*" constante

no "*Airfield Standard Design*", em uso na NATO, e com o STANAG 3784 (Edition 4) – *Technical Guidance For Construction of Aviation and Ground Fuel Installations on NATO Airfields* [28], a que atribui a designação genérica de *Jet Fuel Storage Installation* (JFSI). A nível da segurança contra incêndios de pessoas e instalações, a norma utilizada é a *NFPA 407 Standard for Aircraft Fuel Servicing 2001 Edition*.

Esta infra-estrutura encontra-se situada na Base Aérea em Monte Real, no centro do país. É constituída por dois depósitos de 500m^3, designados por *operating tank*, uma estação de filtragem e de controlo (*Mainfold / Filterstation*), um tanque de drenagem de 10m^3, e dois pontos de reabastecimento com a capacidade de reabastecimento máximo de 240m^3/h.

Cada tanque é de parede dupla, a interior de aço macio e a exterior de cimento armado. A protecção interna consiste num revestimento de pelo menos de 200 micron, à base de resina para redução da corrosão da superfície.

O tanque de drenagem é construído segundo a norma DIN 6608/2[14], de dupla parede em aço com isolamento plástico no interior e isolado no exterior com fibra de vidro reforçado.

Os tubos são fabricados em aço ou aço inoxidável existindo, aproximadamente, 319,8 e 83,8 metros respectivamente, distribuídos conforme tabela abaixo.

Tabela 5 – Tubos constituintes da instalação.

	DN 25	DN 50	DN 80	DN100	DN 150	DN 200	DN 250
Aço	21,00	142,10	0,00	21,00	126,30	3,60	5,80
Aço inoxidável	0,00	27,00	4,30	22,20	18,80	11,50	0,00

Como equipamentos de protecção, a instalação possui um sistema de detecção de fugas através de um dreno entre as duas paredes. Possui também, em cada depósito, válvulas de alívio por vácuo e "tapa chamas". Todas as superfícies de aço enterradas são protegidas contra a corrosão.

[14] DIN 6608/2 Horizontal Double-wall Steel Tanks for the Underground Storage of Flammable and Non-flammable Polluting Liquids.

A protecção contra incêndios é constituída por vários extintores portáteis, existindo a cerca de 2000 metros, uma equipa de bombeiros de serviço permanente.

Esta instalação possui ainda uma fonte de energia de emergência constituída por um grupo gerador próprio.

No anexo D, são apresentadas fotografias da instalação e partes do projecto relacionadas com esta dissertação.

6.2 Combustível [29] [30]

O combustível utilizado, na grande maioria das aeronaves da FAP, é o combustível padrão utilizado na Europa. Este é similar ao utilizado na aviação comercial, o Jet A_1, mas com a adição de um inibidor de corrosão, para prevenir a corrosão das superfícies de aço em contacto com o combustível e fornecer lubrificação aos componentes do sistema de combustível como bombas e controlos. Possui ainda aditivos de condutividade para diminuir o tempo necessário para "relaxar" qualquer carga eléctrica acumulada durante o transporte, o bombeamento ou a filtragem, e inibidor de formação de gelo no sistema de combustível, conhecido por JP-8, designação norte-americana e comummente utilizada na FAP, ou por F-34, designação atribuída pela NATO.

Este combustível tem como características distintivas [31] um aspecto incolor ou pálido, ponto de inflamação a + 38º C, ponto de congelamento a - 47º C, densidade relativa entre 774,598 a 838,956 g/l e viscosidade cinemática a 16º C de 0,01765 cm^2/s. Forma misturas explosivas com o ar no intervalo de temperaturas de + 35ºC a + 75ºC ou à temperatura ambiente em concentrações de 0,6 a 4,9.

6.3 Regulamentação

A nível nacional, existem alguns regulamentos que regem as actividades relacionadas com o armazenamento e manipulação de combustíveis.

No anexo C são indicadas e transcritas as passagens mais importantes da legislação existente, dando-se de seguida um resumo dos seus conteúdos. É de realçar que dois destes regulamentos estão em vigor há mais de meio século: o Decreto n.º 29 034, de Outubro de 1938 e o Decreto n.º 36 270, de Maio de 1947.

O Decreto n.º 29 034, de 1 de Outubro de 1938 refere a necessidade de manutenção dos depósitos em perfeito estado de funcionamento.

O Decreto n.º 36 270, de 9 de Maio de 1947, é mais específico e regulamenta a segurança das instalações para armazenamento e tratamento industrial de petróleos brutos, seus derivados e resíduos. Classifica os produtos e as instalações, bem como a sua construção e funcionamento.

Mais recentemente, o Decreto-lei n.º 302/2001, de 23 de Novembro vem regulamentar a construção e exploração de postos de abastecimento de combustíveis, não indicando qualquer directiva para depósitos de combustíveis para aeronaves.

A Portaria n.º 765/2002, de 1 de Julho, estabelece as condições aplicáveis ao projecto, construção, exploração e manutenção de oleodutos de transporte de hidrocarbonetos líquidos e liquefeitos.

Com mais interesse para o estudo em causa, o Decreto-Lei n.º 267/2002, de 26 de Novembro, estabelece e define as competências para licenciamento de instalações de armazenamento de combustíveis e determina o intervalo das inspecções periódicas.

6.4 Manutenção aplicada à instalação

A manutenção aplicada à instalação está regulamentada a nível nacional pelos números 2 e 3 do art. 16.º do Capítulo V do Decreto n.º 29 034, de 1 de Outubro de 1938, e do número 1 do Art. 19.º do Capítulo III do Decreto-Lei n.º 267/2002, de 26 de Novembro, conforme acima referido. A nível da NATO, a referida manutenção é regulamentada pelo STANAG 3609 (Edition 4) – *Standards for Maintenance of Fixed Aviation Fuel Receipt, Storage and Dispensing Systems*. [32]

Nos regulamentos nacionais estudados não foi encontrada nenhuma orientação específica relativamente ao tipo de tarefas de manutenção a efectuar em instalações

deste tipo, existindo apenas a orientação genérica de que as entidades "têm de mater as instalações em perfeito estado de funcionamento" e "empregar os meios necessários que lhes forem indicados para ocultar, mascarar e prever a segurança dos depósitos e instalações", sendo estas "objecto de inspecção periódica, quinquenal, destinada a verificar a conformidade".

A única especificação aparece no Decreto n.º 36 270, de Maio de 1947 e refere-se aos ensaios de resistência e estanquicidade a efectuar após a construção de reservatórios enterrados, não indicando se estes devem ser efectuados num modo regular ao longo da vida da instalação.

Neste aspecto, o STANAG 3609 é muito mais específico e detalhado, descrevendo os passos e delimitando espaço temporal a ter conta em acções de manutenção, como consta do Capítulo *Maintenance Procedures and Records*[15].

6.4.1 STANAG 3609 – Manutenção

A manutenção efectuada na instalação em estudo é a preconizada no STANAG 3609, cujos objectivos são impedir paragens, assegurar uma manutenção correcta e em tempo útil, fornecer pequenas reparações imediatas para evitar reparações maiores e controlar de custos de manutenção.

Após algumas considerações relativas à sua implementação, e de clarificar a terminologia, fornecendo definições relativas a este tipo de instalações, este STANAG descreve as acções de manutenção a efectuar em três partes: os anexos B, C e D.

No anexo B descreve as inspecções e acções de manutenção preventiva na área dos sistemas de abastecimento ou reabastecimento, dos tanques de armazenagem, das bombas, das estações de filtragem e controlo, dos indicadores de pressão, válvulas, válvulas automáticas, filtros e separadores, tubagens, sistemas eléctricos, sistemas de protecção catódica, geradores de reserva e ainda acções de protecção ambiental.

[15] Em Português: Registo e Procedimentos de Manutenção.

Na segunda parte, constituída pelo anexo C, é definida a periodicidade das inspecções e acções de manutenção preventiva. A classificação de periodicidade, aplicada aos diversos sistemas e componentes da instalação, é a que se segue :

D – Diariamente (*Daily*).

W – Semanalmente (*Weekly*).

M – Mensal (*Monthly*).

Q – Trimestral (*Quarterly*).

S – Semi-anual (*Semi-annually*).

A – Anual (*Annually*) – aplicável nos tanques entre 3 e 8 anos.

AR – (*As Required*) - periodicidade determinada pelas normas nacionais ou pelo fabricante.

Tabela 6 - Quadro de manutenção aplicada à instalação.

	Objecto	Utilização	*D*	*W*	*M*	*Q*	*S*	*A*	*AR*
Área de abastecimento	Inspeccionar perigos de incêndio	Sistemas de operação diária	X						
		Sistemas usados mensalmente		X					
		Sistema "Standby"			X				
	Local de abastecimento	Sistemas de operação diária		X					
		Sistemas usados mensalmente			X				
		Sistema "Standby"				X			
	Extintores, eq. combate de incêndios				X				X
Storage tanks	Indicador de Nível	Tanques de uso diário					X		
		Tanques em "Standby"						1	
	Tapa chamas e válvulas de vácuo						X		
	Alarme alto e baixo nível	Tanques de uso diário				X			
		Tanques de uso trimestral						1	
	Válvulas hidráulicas de alto nível	Tanques de uso diário				X			
		Tanques de uso trimestral						1	
	Eq. detecção de fugas e vapor	Tanques de uso diário				X			
		Tanques em "Standby"						1	
	Tanques operacionais							5	
	Tanques de armazenagem							5	
	Tanques de drenagem							5	
Bombas	Corrosão no motor	Unidades uso diário ou mensal				X			
		Unidades em "Standby"						1	
	Fugas / vibrações / aquecimento / alinhamento / rotação do eixo e do acoplamento	Bombas uso diário		X					
		Bombas uso mensal			X				
		Bombas em "Standby"						1	
	Caudal e pressão	Bombas uso diário ou mensal				X			
		Bombas em "Standby"						1	
	Motor: ligações / aquecimento / anti-condensação	Bombas uso diário ou mensal			X				
		Bombas em "Standby"						1	
Filtragem e controlo	fugas / registo caudal / pressão dos filtros separadores	Sistemas uso diário			X				
		Sistemas uso mensal				X			
		Sistemas em "Standby"						1	
	Substituição filtro separador	36 m ou pressão diferencial 15 psi							X
	Basket Strainers								X
	válvulas manuais e exaustores	Sistemas uso diário ou mensal				X			
		Sistemas em "Standby"						1	
	Válvula de controlo sobre-pressão	Sistemas uso diário							
		Sistemas uso trimestral							
		Sistemas em "Standby"							
Dispensing points	Fugas / caudal / pressão / controlo "dead-man" / "terra" / desgaste do "nozzle"	Sistemas uso diário			X				
		Sistemas uso trimestral					X		
		Sistemas em "Standby"						1	
Pantographs	Liberdade de movimento / desgaste do "nozzle" / fugas articulações giratórias	Sistemas uso diário ou mensal				X			
		Sistemas em "Standby"						1	
	Articulações/camaras equalização pressão/válvulas ventilação drenagem / indicadores pressão/dispositivos bloqueio	Sistemas uso diário			X				
		Sistemas uso mensal				X			
		Sistemas em "Standby"						1	
	teste condutividade / "terra"	Em uso					X		
		em "Standby"							X
Mangueiras	cortes					X			
	lubrificação de juntas							1	
	teste hidrostático						X		

Tabela 6 - Quadro de manutenção aplicada à instalação (continuação).

	Objecto	Utilização	D	W	M	Q	S	A	AR
Válvulas automáticas de	Fugas / aperto / funcionamento diafragma	Uso diário ou mensal				X			
		em "Standby"						1	
	Controlo electrico do solenoide							1	
Tubagem	Tubagem enterrada	Fugas			X				
		Teste de pressão						1	
	Tubagem exposta	Fugas à pressão de operação		X					
		Fugas em Sistemas em "Standby"				X			
		Controlo de corrosão				X			
		Verificação etiquetas e informação				X			
		Ligações e soldaduras				X			
		Teste de pressão ao sistema						1	
		Lubrificação / substituição juntas e vedantes							X
Sistema eléctrico	Funcionamento bomba controlo fluxo / teste dos interruptores de emergência / sensores / alarme / cabos expostos	Uso diário ou mensal				X			
		em "Standby"						1	
	condutividade "terra" / ligações	Sistemas uso diário			X				
		Sistemas uso mensal				X			
		Sistemas em "Standby"						1	
Protecção catódica	Operação fonte alimentação				X				
	Comparação registos saída rectificador					X			
	Medida da performance de potencial							1	
Protecção ambiental	Verificar presença de combustível nos separadores	Sistemas uso diário		X					
		Sistemas uso mensal				X			
		Sistemas em "Standby"						1	
	Verificar pintura/ casa bombas, estação filtragem controlo / pontos abastecimento	Sistemas uso diário				X			
		Sistemas em "Standby"						1	
Gerador	Operar gerador uma hora em condições de serviço	Uso diário ou mensal				X			
		Em "Standby"						1	
	Inspecções recomendadas fabricante								X

Na derradeira parte relativa à manutenção, que constitui o anexo D, o STANAG 3609 descreve as orientações e os procedimentos para entrada, inspecção, limpeza e reparação de tanques de armazenagem de combustíveis de aeronaves.

Relativamente à entrada nos tanques, especifica o equipamento de segurança mínimo, também conhecido como Equipamento de Protecção Individual (EPI), o equipamento de limpeza, e os procedimentos de preparação para a entrada no tanque.

O equipamento de limpeza deve ser:

5. Uma unidade ventiladora tipo "eductor"[16], à prova de explosão, que funcione por bomba de ar;
6. Compressor;
7. Esfregonas, colheres, trapos, rodos de borrachas e materiais absorventes;
8. Iluminação portátil à prova de explosão ou operada a bateria aprovada;
9. Ligações à "terra" e sinais de perigo;
10. Medidor de concentração de vapor/oxigénio e multímetro (com a função teste Ohm).

Os últimos parágrafos deste anexo referem-se à inspecção e limpeza de tanques, bem como à eliminação de resíduos.

Relativamente à limpeza e inspecção, dá ainda directivas no que concerne ao número de indivíduos que devem compor a equipa e às tarefas que cada um deverá desempenhar, e ao processo e tempo de ventilação do tanque.

No que respeita à inspecção das superfícies revestidas do tanque, refere que deve ser efectuada após o processo de limpeza. Pequenas fissuras, bolhas ou raspagens no revestimento, devem ser reparadas pela equipa de limpeza através da utilização de "kits" de reparação. Se o número de fissuras, bolhas ou raspagens for muito grande, o supervisor deve decidir se quer ou não que o tanque permaneça fora de operação enquanto não forem reparadas as anomalias. O equipamento que se encontra dentro do tanque deve também ser inspeccionado quanto ao desgaste ou deformação anormal.

A eliminação de resíduos deve ser efectuada conforme as instruções e directivas do coordenador do ambiente. No caso da FAP, esta função é assegurada pelo Gabinete do Ambiente.

[16] Segundo o "site" da *Northeast Control Incorporated*, as "eductor", também conhecidas como bombas de Venturi, são a forma mais eficiente de bombear ou mover líquidos e gases nas indústrias petroquímica e de energia.

7 Avaliação

Numa aplicação dos conceitos CoF, PoF, Risco e Matriz de Risco, segue-se uma análise de risco a um componente da instalação atrás apresentada. Na avaliação, serão utilizados todos os dados e informações recolhidos, de modo a que seja a mais fidedigna possível.

Como referido no procedimento analisado no capítulo 3, uma avaliação RBIM deve conter as fases de análise preliminar, de recolha e validação de dados, de análise de risco, de implementação e de avaliação da eficiência.

Na análise preliminar foram utilizadas as informações relativas aos cenários possíveis e modos de falha contidas no *DRAFT DOC API*, e, por razões óbvias, relativas à natureza desta dissertação, não foi constituída nenhuma equipa multi-disciplinar.

Para a fase de recolha e validação de dados, reuniram-se as informações referidas no capítulo 6, onde é feita a descrição das instalações em análise. A manutenção e inspecção foi, até à data, efectuada conforme descriminado na tabela 6, constituindo-se um quadro de manutenção aplicável à instalação. Também foi consultado o projecto, cuja cópia se encontra no anexo D.

Nesta avaliação não poderão ser realizadas as fases de decisão e plano de acção, nem de implementação e de avaliação da eficiência, por, como foi atrás referido, não ter sido constituída uma equipa multi-disciplinar capaz de negociar estas fases. Por esta razão e por não ser esse o objectivo deste trabalho, tratar-se-á apenas a análise de risco, tomando por guia o apêndice *A Comprehensive Risk Assessment Method I, Likelihood & Consequences Analysis* contido no *DRAFT DOC API*.

Optou-se por não se efectuar a avaliação *Quallitative Risk Assessment Method II*, Apêndice B, contido no *DRAFT DOC API*, uma vez que este método obterá melhores resultados se for aplicado por uma equipa de indivíduos com conhecimentos, competências e grande experiência na inspecção dos equipamentos e componentes da instalação. Ainda foi efectuada uma tentativa de análise qualitativa de alguns cenários de fuga, mas confrontou-se com o problema da definição dos intervalos a que corresponderia cada nível de consequências, conforme sugeridas no apêndice: extremamente baixas, baixas, moderadas, elevadas e extremamente elevadas. Por

exemplo, ao analisar o cenário de fugas no fundo do tanque, não existia informação relativa à ocorrência de um evento semelhante na instalação para se poder determinar a sua probabilidade, nem a experiência suficiente para a determinação das consequências de tal cenário, o que inviabilizou a sua classificação.

A instalação é composta por depósitos atmosféricos enterrados, não existindo nenhum documento que efectue uma avaliação a este tipo de depósitos. No entanto, considerando-se que os depósitos atmosféricos enterrados se encontram mais protegidos do que os superficiais, optou-se por adoptar a avaliação destinada a depósitos superficiais, tornando assim esta análise mais conservativa.

Os cenários estudados foram os constantes na tabela A.1.1: *Liquid Release Scenarios Analized in the Terminals Risk Assessment Method I*, para o depósito, frequência de fugas lentas e rápidas no fundo, frequência de fugas lentas e rápidas na parede, frequência de sobre enchimento e frequência de sobre enchimento do autotanque. A análise da drenagem do topo do depósito não é efectuada, como referenciado no procedimento do método, devido ao facto de existir cobertura.

Foram escolhidos estes cenários por corresponderem à metodologia do *API Risk Assessment Workbook*, apêndice C. Os formulários a partir dos quais se elaboraram as tabelas de cálculo em Excel, encontram-se preenchidos no anexo F.

7.1 Análise de risco

Tendo o apêndice A como condutor, efectuou-se a análise da PoF e das CoF e posterior análise de risco, tendo sido efectuada uma programação, com recurso ao *software* Excel, da Microsoft, para realização dos cálculos necessários, permitindo um posterior aproveitamento para avaliações em instalações similares à estudada aqui. Seguiu-se o procedimento, constante nos diagramas das figuras A.2.1.1, A.2.1.2, A.2.1.3 e A.2.1.4, para a determinação da PoF e a aplicação do *Consequence Model* para a determinação das CoF.

Tabela 7 -Tabela exemplo.

Formulário		
Frequência de fugas rápidas no fundo		
base freq	0,00002	$2{,}0*10^{-5}$
MF_{Design}	5	*Tabela A.2.2.18*
$MF_{Corrosion}$	0,2	EQ. C-1(>=0,2)
$MF_{Settlement}$	1,5	*Tabela A.2.2.19*
RBLF	3,000E-05	EQ. A.8

As tabelas utilizadas, quer no cálculo da PoF quer das CoF, contêm os passos e os valores aplicados. Células sem fundo colorido referem-se a valores retirados de tabelas, os valores calculados intermediamente têm as suas células a azul, sendo as células a verde referentes ao cálculo final, como se pode verificar na tabela 7.

Assim, foi criada uma folha onde são efectuados os cálculos, para os seis cenários estudados (A, B, C, D, F e E), das PoF e CoF, cujos valores finais respectivos são apresentados em células de cor verde.

Os valores encontrados são exportados para outra folha, onde é efectuada a ponderação desses valores e efectuado o cálculo do risco PoF x CoF.

Estes valores são posteriormente exportados para outra folha que constituirá a matriz de risco. Nesta folha é apresentada a matriz, que identifica automaticamente o valor do risco, apresentando a letra correspondente a um cenário na grelha respectiva.

Na programação teve-se em consideração que para o mesmo valor PoF x CoF existem situações que podem ter o mesmo valor numérico, isto é, 0,1 * 0,5 = 0,5 * 0,1 = 0,05, o que, se não fosse tido em consideração, poderia gerar ambiguidades na sua classificação como risco aceitável ou risco baixo. Tal não acontece porque a matriz, ao identificar qual dos dois, CoF e PoF, é maior, garante uma identificação e classificação correcta do risco.

Esta programação poderá ser aproveitada para instalações similares em que sejam analisados seis cenários. No entanto tem a desvantagem não ser a melhor ferramenta para analisar muito mais cenários, pois tornar-se-ia pouco prática para a apresentação dos resultados.

7.1.1 PoF

Na determinação da PoF, a *DRAFT DOC API* utiliza a frequência base de fuga multiplicada por um ou mais factores, relacionados com a deterioração potencial de cada tipo de serviço e com o tipo de inspecção efectuado, denominado factor de modificação. Assim:

PoF = Frequência base de falha x Factor de modificação

Os factores de modificação, combinados para obtenção da probabilidade final, são apresentados nas tabelas referentes a cada cenário.

7.1.1.1 Frequência de fugas lentas no fundo

Para esta análise são apresentados dois casos possíveis, dependendo do conhecimento do rácio de corrosão. Como o rácio de corrosão não é conhecido, efectuou-se a análise segundo o caso 2.

Esta análise aplica-se a fundos de depósitos sujeitos a corrosão interna e externa, localizada ou generalizada, incluindo erosão e *pitting*.

Os factores de modificação requeridos para a análise são;

- rácio de corrosão externa ($r_{ext-base}$) – o método utiliza 5 mpy (0,125 mm) como valor padrão de corrosão por ano, determinado sob as condições constantes na tabela A2.2.5 *Summary of Conditions for Soil Side Base Corrosion Rate*. Essas condições são: terreno moderadamente corrosivo, berço de cimento ou asfalto, água das chuvas não armazenadas nas proximidades do tanque, sem protecção catódica, depósito de fundo único e funcionamento a temperatura inferior a 24ºC (75 ºF).
- resistividade do terreno (MF_{res}) – a resistividade do terreno onde o berço assenta pode afectar a razão de corrosão do depósito. O berço pode ficar contaminado, por efeito de capilaridade, com terreno corrosivo. Foram utilizadas as tabelas A.2.2.6 e A2.2.7 para a atribuição deste factor, tendo sido considerado que o terreno é corrosivo moderado por ter boa drenagem.

- berço do tanque (MF_{TP}) – o tipo de material de que é construído o berço, à semelhança da resistividade do terreno, influencia o rácio de corrosão. Neste caso é construído em cimento.
- drenagem do tanque (MF_{D}) – a acumulação de águas pluviais junto do depósito aumenta em grande medida a corrosão. Como já foi referido, este terreno possui uma boa drenagem não existindo acumulação de águas.
- protecção catódica (MF_{CP}) – a protecção catódica é um método usado para evitar a corrosão do lado do terreno. A instalação possui protecção catódica não aplicada pelo API Std 651 – *Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks*.
- temperatura de funcionamento (MF_{FT}) – a temperatura de funcionamento pode influenciar a corrosão externa, sendo neutra para temperaturas inferiores a cerca de 24 ºC (75 ºF).
- rácio de corrosão interna ($r_{int\text{-}base}$) – devido à sua densidade, a humidade contida no combustível, por contacto deste com o ar ou por outro tipo de contaminação, concentra-se no fundo do depósito. O depósito foi considerado como seco (*Dry*) por, tipicamente, não existir a presença de água devido à regular inspecção do combustível e ao sistema de separação e filtragem.
- película de protecção interna (MF_{IL}) – a película de protecção interna existe, mas não foi aplicada ao abrigo do API 652 – *Lining of Aboveground Petroleum Storage Tank Bottoms*.
- idade da película interna (MF_{LA}) – a película tem dezasseis anos e encontra-se em boas condições.
- aquecedor de vapor (MF_{SC}) – não existe aumento da temperatura por não existir aquecedor de vapor.
- drenagem de água (MF_{WD}) – existe drenagem da água, efectuada regularmente.

Após a determinação dos factores de modificação, efectuaram-se os cálculos para a determinação do rácio de corrosão externa $r_{soil\ side}$(lado do terreno), e do rácio de corrosão interna $r_{top\ side}$(respectivamente equação A.6 e A.7 do *DRAFT DOC API*), como a seguir se indica.

$$r_{soil\ side} = 5\ mpy * MF_{res} * MF_{TP} * MF_{D} * MF_{CP} * MF_{FT}$$

$$r_{top\ side} = r_{int\text{-}base} * MF_{IL} * MF_{LA} * MF_{FT} * MF_{FT} * MF_{WD}$$

Para a determinação do valor do factor de modificação $MF_{ar/t,}$ a utilizar no cálculo da frequência de fugas lentas no fundo, e dependendo da classificação da inspecção directa ou por interpolação através da tabela A.2.2.3, é necessário calcular o valor "ar/t", correspondendo (**a**) à idade do depósito, (**t**) à sua espessura e (**r**) ao rácio de corrosão total, que, não sendo conhecida e sendo a corrosão interna localizada, se obtém utilizando o maior valor de entre $r_{soil\ side}$ e $r_{top\ side}$. No caso em estudo os valores das variáveis são: **r** = 3,3 mpy (0,084 mm por ano), **a** = 16 anos e **t** = 320 mils (8 mm).

Atendendo ao valor calculado "ar/t" (equação A.4 do *DRAFT DOC API*), e perante uma inspecção que, conservativamente, foi classificada como E, alcançou-se, por interpolação linear, o valor de $MF_{ar/t}$ = 0,0564.

O último passo no cálculo da frequência de fugas lentas no fundo (BLF), consiste na multiplicação da frequência de referência de fuga lenta no fundo, $7{,}2*10^{-3}$, pelo factor de modificação $MF_{ar/t}$ (equação A.4 do *DRAFT DOC API*).

$$BLF = 7{,}2*10^{-3} * MF_{ar/t}$$

Tabela 8 - Cálculo da frequência de fugas lentas no fundo.

Formulário		
Frequência de fugas lentas no fundo		
$r_{ext\text{-}base}$	5	Mpy
MFres	1	*Tabela A.2.2.6*
MF_{TP}	1	*Tabela A.2.2.8*
MF_{D}	1	*Tabela A.2.2.8*
MF_{CP}	0,66	*Tabela A.2.2.10*
MF_{FT}	1	*Tabela A.2.2.11*
$r_{soil\ side}$	3,3	*EQ. A.6*
$r_{int\text{-}base}$	2	*WET=5;DRY=2*
MF_{IL}	1,5	*Tabela A.2.2.14*
MF_{LA}	1	*Tabela A.2.2.15*
MF_{FT}	1	*Tabela A.2.2.11*
MF_{SC}	1	*Tem=1,5; não=1*
MF_{WD}	0,7	*Tem=0,7; não=1*
$r_{top\ side}$	2,1	*EQ. A.7*
r	3,3	Nota 1
a	16	Idade do equip.
t	320	Mils
Class. Insp.	E	*Tabela A.2.2.2*
fuga	0,0072	$7,2*10^{-3}$
ar/t	0,165	EQ. A.4
$MF_{ar/t}$	0,0564	*Tabela A.2.2.3*
BLF	4,061E-04	EQ. A.5

Conclui-se que a frequência de fugas lentas no fundo é de $4,061*10^{-4}$ fugas por ano.

7.1.1.2 Frequência de fugas rápidas no fundo

A frequência de referência de fugas rápida no fundo é de $2,0*10^{-5}$ por ano e por depósito. Este rátio de fugas é modificado por três factores: o factor de projecto (MF_{Design}), o factor de corrosão ($MF_{Corrosion}$), e o factor de assentamento[17] ($MF_{Settlement}$).

O valor dos factores de projecto e de assentamento são retirados, respectivamente, das tabelas A.2.2.18 e A.2.2.19. O valor de corrosão é o valor de $MF_{ar/t}$, determinado para a

[17] Assentamento refere-se ao estado da estrutura relativamente à existência de basculamento e desalinhamento que podem provocar concentrações de forças na interface parede / fundo do depósito.

frequência de fugas lentas no fundo, dividido por 20, devendo ser igual ou superior a 0,2.

$$MF_{Corrosion} = MF_{ar/t} / 20 \geq 0{,}2$$

$$RBLF = 2{,}0 * 10^{-5} * MF_{Desing} * MF_{Corrosion} * MF_{Settlement}$$

Tabela 9 - Cálculo da frequência de fugas rápidas no fundo.

Formulário		
Frequência de fugas rápidas no fundo		
base freq	0,00002	$2{,}0*10^{-5}$
MF_{Design}	5	*Tabela A.2.2.18*
$MF_{Corrosion}$	0,2	EQ. C-1(>=0,2)
$MF_{Settlement}$	1,5	*Tabela A.2.2.19*
RBLF	3,000E-05	EQ. A.8

A frequência de fugas rápidas no fundo, RBLF, é de $3{,}0*10^{-5}$.

7.1.1.3 Frequência de fugas na parede

À semelhança da BLF, a análise de frequência de fugas na parede, lentas e rápidas, assenta também numa frequência de referência, que, neste caso, por ser um depósito construído pelo processo de soldadura, é de $1{,}0*10^{-4}$ acontecimentos por ano, conforme a tabela A.2.3.1 *Base Leak Frequencys for Tank Shell*. O rácio de corrosão interna, como na BLF, é de 2 mpy por se considerar que se encontra em condições secas.

Os restantes factores de modificação para a análise da frequência de fugas na parede são:

- Película protecção interna (AF_{Lining}) – existe, mas não foi aplicada em conformidade com o API 652.
- Idade da película (AF_{Age}) – dezasseis anos, e em boas condições, embora não tenha sido aplicada ao abrigo do API 652.
- Rácio de referência de corrosão exterior ($r_{ext\text{-}base}$) – depende da variação de temperaturas de funcionamento e do clima. Neste caso a variação é 15 a 50 ºC (61-120 ºF) e o clima é temperado.

Após a determinação dos factores de modificação, efectuaram-se os cálculos para a determinação do rácio de corrosão interna (r_{int}) e o ajustamento da protecção externa ($AF_{Coating}$).

AF*Coating* é o rácio entre o que é considerado como o depósito estando desprotegido após dez anos da aplicação da película protectora, divido pela idade. Após o seu cálculo, o valor resultante é utilizado para determinação do rácio de corrosão externa (r_{ext}).

$$r_{int} = 2 \text{ mpy} * AF_{Lining} * MF_{Age}$$

$$AF_{Coating} = \# \text{ anos desprotegido} * \text{idade}$$

$$r_{ext} = r_{ext\text{-}base} * AF_{Coating}$$

De igual modo, para efectuar a análise de frequências de fundo, também é necessário calcular o valor "ar/t", determinando-se o $MF_{ar/t}$.

Contrariamente ao que sucedera no fundo, em que não foram efectuadas inspecções no lado do terreno, aqui foram realizadas inspecção do tipo D, conforme a tabela A.2.3.3 *Guidelines for Assigning Inspection Ratings – Tank Shell*.

Após o cálculo da "ar/t", e da determinação do número e tipo de inspecções, por interpolação linear, chegou-se ao valor do factor de modificação $MF_{ar/t}$. Finalmente calculou-se a frequência de fugas lentas na parede do depósito (SLF) utilizando a equação que se mostra de seguida.

$$SLF = 1{,}0*10\text{-}4 \ * MF_{ar/t}$$

A frequência de fugas rápidas na parede é retirada da tabela A.2.3.11 *Base Leak Frequencys for Tank Rapid Shell Failures*. Como não é efectuada a manutenção segundo o API 653, considerou-se como $4{,}0*10^{-4}$ a frequência de fugas rápidas na parede (RSF).

Tabela 10 - Cálculo da frequência de fugas na parede.

Formulário		
Frequência de fugas na parede		
$r_{int-base}$	2	*WET=5;DRY=2*
AF_{Lining}	1,15	*Tabela A.2.3.7*
AF_{Age}	1	*Tabela A.2.3.8*
r_{int}	2,3	EQ. A.7
$r_{ext-base}$	1	*Tabela A.2.3.9*
$AF_{Coating}$	0,375	EQ. A.11
r_{ext}	0,375	EQ. A.12
r	2,3	Nota 1
a	16	Idade do equip.
t	320	Mils
ar/t	0,115	EQ. A.9
Class. Insp.	D	*Tabela A.2.3.3*
# Insp.	3D	
$MF_{ar/t}$	0,03967	*Tabela A.2.3.4*
BLF	0,0001	*Tabela A.2.3.1*
SLF	3,967E-06	EQ. A.10
RSF	4,000E-06	Tabela A.2.3.11

7.1.1.4 Frequência de sobre enchimento

O sobre enchimento é um acontecimento que não pode ser determinado em combinação com outros acontecimentos. A frequência de referência de sobre enchimento é de $1{,}0*10^{-4}$ por enchimento, por ano e por tanque.

Os factores de modificação a considerar são a qualidade das operações ($MF_{Quality}$), o nível de aferição dos instrumentos de medição ($MF_{Level\ Gauging}$), a existência ou não de um sistema automático de corte ($MF_{Auto\ Shut}$) e a permanência e vigilância do(s) operador(es) (MF_{Attend}).

Para a determinação do $MF_{Quality}$ foi dada resposta às perguntas que se encontram na tabela A.2.4.2 de *Assessing Quality of overfill Management Systems*. Uma vez que os procedimentos de inspecção e formação não foram efectuados ao abrigo da API RP-

2350, foi atribuída a classificação de qualidade B, que contempla um factor de modificação 1, neutro.

Para os outros factores de modificação $MF_{Level\ Gauging}$ e MF_{Attend} foram consultadas, respectivamente, as tabelas A.2.4.3 e A.2.4.4. do mesmo documento. Ao $MF_{Auto\ Shut}$ foi atribuído o valor 0,1.

O cálculo da frequência de sobre enchimento (OF) fez uso da fórmula que se mostra a seguir.

$$OF = 1{,}0 * 10^{-4}/fill * MF_{Quality} * MF_{Level\ Gauging} * MF_{Auto\ Shut} * MF_{Attend} * fills/year$$

Durante o ano, em média, são efectuados 140 enchimentos, o que corresponde a dois por semana.

Tabela 11 - Cálculo da frequência de sobre enchimento.

Formulário		
Frequência de sobre enchimento		
Base freq	0,0001	
	0,0104	EQ. A.13
Class. Qualid.	B	Tabela A.2.4.2
$MF_{Quality}$	1	Tabela A.2.4.2
$MF_{Level\ Gauging}$	0,8	Tabela A.2.4.3
$MF_{Auto\ Shut.}$	0,1	Página A.40
$MF_{Attend.}$	1	Tabela A.2.4.4
OF	8,320E-04	EQ. A.14

7.1.1.5 Frequência de sobre enchimento do autotanque

O enchimento dos autotanques, para posterior transfega para as aeronaves, é efectuado por tubagens flexíveis que são acopladas por intermédio de dispositivos metálicos de ligação rápida, isto é, sem rosca. As causas mais frequentes de falha nas tubagens e ligações são falhas mecânicas ou resultantes da corrosão, e ocorrem durante o seu manuseamento. Outras causas possíveis consistem na excessiva pressurização do sistema ou na utilização de materiais incompatíveis.

Figura 17 - Enchimento de auto tanque.

A frequência de referência de sobre enchimento é de $1*10^{-5}$ por enchimento de autotanque por ano.

Os factores de modificação a considerar são a qualidade das operações e o ajustamento dos sistemas de controlo, respectivamente $MF_{Quality}$, tabela A.2.7.4, e $MF_{Control\ Sys}$, tabela A.2.7.5, a utilizar na fórmula que se segue.

$$TTOF = 1{,}0*10^{-5}/fill * MF_{Quality} * MF_{Control\ Sys} * fills/year$$

Tabela 12 - Cálculo da frequência de sobre enchimento do autotanque.

Formulário		
Frequência de sobre enchimento autotanque		
Base freq	0,00001	
Enchim./ano	280	
$MF_{Quality}$	2	Tabela A.2.7.4
$MF_{Control}$	10	Tabela A.2.7.5
TTOF	5,600E-02	EQ. A.34

7.1.2 CoF

Como já foi referenciado no subcapítulo 4.2., o *DRAFT DOC API* somente efectua três avaliações relativas as consequências, a ambiental (ECoF), a populacional (PCoF) e a de negócio (BCoF). Estas podem ser analisadas individualmente ou então combinadas entre si através dos factores de peso sugeridos: 0,5, 0,3 e 0,2, respectivamente para a ECoF, PCoF e BCoF.

A *DRAFT DOC API* apresenta, para cada uma das análises, um conjunto de oito questões, com cinco possibilidades de resposta, cada uma com um determinado valor, que permitem o cálculo das consequências.

As consequências calculadas aplicam-se aos eventos fugas lentas e rápidas no fundo, fugas lentas e rápidas na parede e sobre enchimento.

7.1.2.1 ECoF – Ambiental

A análise de consequências ambientais tem em consideração o impacto que uma fuga tem sobre os terrenos no local da instalação e fora dele, nas águas de superfície e nas subterrâneas. Nesta análise são também consideradas as condições ecológicas das zonas circundantes, a legislação ambiental, a comunidade, o produto, as instalações e o tempo dispendido a descobrir uma fuga.

As oito questões orientadoras procuram avaliar o tipo de produto ($Q1_{Produto}$), o volume de produto libertado ($Q2_{Volume}$), a área de impacto primária ($Q3_{Meio}$), o nível de impacto na ecologia circundante ($Q4_{Ecologia}$), o percurso tomado pela ecologia circundante ($Q5_{Percurso}$), a regulamentação/legislação ambiental ($Q6_{Regulamentação}$), a duração do impacto ambiental ($Q7_{Duração}$) e os planos de acção e resposta ($Q8_{Responsabilidade}$).

O valor das ECoF é, assim, calculada pela fórmula que a seguir se seguinte.

$$ECoF = Q1_{Produto} * Q2_{Volume} * (Q3_{Meio} + Q4_{Ecologia} * Q5_{Percurso}) * Q6_{Regulamentação} * Q7_{Duração} * Q8_{Responsabilidade}$$

Tabela 13 - Cálculo das consequências Ambientais.

Formulário		
CoF Ambiental		
$Q1_{Produto}$	1,5	
$Q2_{Volume}$	90	
$Q3_{Meio}$	5	
$Q4_{Ecologia}$	1	
$Q5_{Percurso}$	2	
$Q6_{Regulamentação}$	1	
$Q7_{Duração}$	1	
$Q8_{Responsabilidade}$	1	
VALOR	945	ECoF

7.1.2.2 PCOF – Populacional

Esta análise de consequências populacionais considera o impacto que uma libertação de líquido pode ter na saúde das pessoas, quer na instalação, quer nas populações vizinhas, incluindo o risco de exposição ao fogo ou explosão que pode ocorrer como resultado dessa libertação.

À semelhança da análise ECoF, está também é efectuada através de um questionário de oito perguntas, sendo orientadas para aferir o volume de produto libertado ($Q1_{Volume}$), o tipo de produto ($Q2_{Produto}$), a capacidade de resposta ao fogo ($Q3_{Resposta}$), o impacto na saúde e segurança das pessoas ($Q4_{Saúde/Segurança}$), a dispersão do produto libertado ($Q5_{Dispersão}$), o impacto na comunidade ($Q6_{Impacto\ comunidade}$), as áreas de uso humano nas redondezas ($Q7_{Uso\ humano}$) e os planos de resposta ($Q8_{Planos\ de\ emergência}$).

As consequências populacionais são calculadas pela fórmula abaixo.

$$PCoF = Q1_{Volume} * (Q2_{Prouto} * Q3_{Resposta} * Q4_{Saúde/Segurança} + Q5_{Dispersão} * Q6_{Impacto\ comunidade} * Q7_{Uso\ humano}) * Q8_{Planos\ de\ emergência}$$

Tabela 14 -Cálculo das consequências populacionais.

Formulário		
CoF População		
$Q1_{Volume}$	90	
$Q2_{Prouto}$	1	
$Q3_{Resposta}$	1	
$Q4_{Saúde/Segurança}$	15	
$Q5_{Dispersão}$	5	
$Q6_{Impacto\ comunidade}$	2	
$Q7_{Uso\ humano}$	0,5	
$Q8_{Planos\ de\ emergência}$	1	
VALOR	1800	PCoF

7.1.2.3 BCoF – Negócio

A análise das consequências da falha no negócio consiste no estudo do impacto económico que a libertação de líquido introduz no normal funcionamento da instalação ou organização. Toma em consideração a alteração do normal funcionamento das operações, despesas e perda de capital, manutenção, qualidade do serviço prestado ao cliente, relações com a comunidade, legislação e custos de limpeza. Esta análise preocupa-se somente com as implicações de negócio de um determinado acontecimento.

O modelo proposto pelo *DRAFT DOC API* contém questões orientadas para as seguintes áreas: estimativa dos custos das perdas ($Q1_{Custos\ de\ perdas}$), impacto nas operações da instalação ($Q2_{Impacto\ operações}$), efeitos na reputação da organização ($Q3_{Reputação}$), envolvimento legislativo resultante da fuga ($Q4_{Legislação}$), perda de negócio ($Q5_{Perda\ negócio}$), cobertura dos Media ($Q6_{Media}$), efeitos na propriedade ($Q7_{Efeitos\ propriedade}$) e efeitos nos seguros ($Q8_{Seguros}$).

As consequências de fuga de líquido no negócio são calculadas pela fórmula abaixo.

$$BCoF = Q1_{Custos\ de\ perdas} * Q2_{Impacto\ operações} * Q3_{Reputação} * Q4_{Legislação} * Q5_{Perda\ negócio} * Q6_{Media} * Q7_{Efeitos\ propriedade} * Q8_{Seguros}$$

Tabela 15 - Cálculo das consequências no negócio.

Formulário		
CoF Negócio		
$Q1_{Custos\ perdas}$	5	
$Q2_{Impacto\ operacões}$	1,5	
$Q3_{Reputação}$	1,5	
$Q4_{Legislação}$	2,5	
$Q5_{Perda\ negocio}$	1	
$Q6_{Media}$	1,5	
$Q7_{Propriedade}$	1	
$Q8_{Seguros}$	2,5	
VALOR	105,4688	BCoF

7.2 Risco

Efectuado o cálculo das PoF e CoF, houve que proceder à normalização dos valores conforme as tabelas 4.1 e 4.2 do apêndice A da *DRAFT DOC API*, tendo sido criadas para o efeito tabelas de cálculo de modo a que a normalização seja automática depois de encontrados os valores das probabilidades e consequências, apresentando-se o resultado final na tabela 16. Nesta tabela é também calculado o valor do risco através do produto PoFxCoF, em que o valor de CoF é o resultado da ponderação 0,5*ECoF + 0,3*PoF + 0,2*BCoF.

Tabela 16 - Tabela de normalização dos PoF e CoF e cálculo do risco

	PoF	ECoF	PCoF	BCoF	CoF ponderado	Risco (PoFxCoF)
Frequência de fugas no fundo [**A**]	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05
Frequência de fugas rápida no fundo [**B**]	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03
Frequência de fugas na parede [**C**]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01
Frequência de fugas rápida na parede [**D**]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01
Frequência sobre enchimento camião [**E**]	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09
Frequência de sobre enchimento [**F**]	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05

Para melhor visualização do risco calculado, foi criada uma folha onde se representa uma matriz de risco. Esta matriz, elaborada segundo os critérios da *DRAFT DOC API*, apresenta automaticamente os valores de risco encontrados, constantes da coluna Risco (PoFxCoF) da tabela 16, através da colocação da letra correspondente ao cenário no nível de risco correspondente.

A figura 18 é a representação da avaliação do risco dos cenários para o reservatório.

Figura 18 - Matriz de risco dos cenários do reservatório e autotanque.

Pela matriz pode-se verificar que os cenários de fugas na parede, fugas rápidas na parede e fugas rápidas no fundo, respectivamente identificadas pelas letras C, D e B, representam um risco aceitável.

Relativamente aos cenários de fugas no fundo e frequência de sobre enchimento, respectivamente letras A e F, conclui-se que estes representam um risco baixo.

Somente o cenário E representa um risco médio, aparecendo na matriz numa “zona” cujo valor fica destacado dos valores dos cenários relacionados com o reservatório.

Verificou-se que, para os cenários estudados para o reservatório, não existem riscos médios ou elevados, não sendo necessário, por isso, efectuar uma mitigação dos riscos, embora tal possa ser efectuado para os cenários A e F de modo a baixarem para a categoria de risco aceitável.

Contrariamente aos resultados obtidos nos cenários estudados para o reservatório, no que concerne ao depósito, o risco de um evento, relacionado com fuga de líquido, ocorrer num enchimento de um autotanque, apresenta-se como risco médio. Este valor deve ser mitigado de modo a, pelo menos, descer até ao nível de risco baixo.

À excepção do autotanque, os resultados obtidos para os cenários de risco são baixos, em grande medida porque as consequências populacionais, ecológicas e económicas não são elevadas, quer pela especificidade da instalação (sem fins lucrativos), quer pela ausência de nichos ecológicos quer pela existência de um plano de resposta a incidentes.

8 Discussão e Conclusões

Algumas empresas na área da energia e petroquímica, como é o caso das plataformas petrolíferas e de armazenamento de petróleo e seus derivados, começam a centrar as suas acções de manutenção e inspecção na metodologia RBIM, isto é, efectuam estas acções através da avaliação da risco que os equipamentos e componentes das infra-estruturas representam, evitando a manutenção em que o tempo é o factor principal, de que é exemplo a Manutenção Preventiva.

Já a Aeronáutica, através da utilização da RCM aplicada ao MSG, chegou à conclusão que a revisão geral ou paragens periódicas, na maioria dos casos, não alteravam significativamente a segurança ou a fiabilidade geral das instalações. Era um processo analítico dispendioso, com baixos benefícios, introduzindo falhas por mortalidade infantil e levando a uma perda considerável da “vida útil” dos equipamentos.

É em 1983 que os primeiros conceitos RBI foram aplicados, através de um modelo computorizado, na indústria petroquímica e refinaria. Estes conceitos tomam a forma de Norma, na década de 90 do Século XX, pela API e pela DNV, numa sistematização da informação sobre condições de processo, histórico de inspecção e das consequências das falhas.

A nível europeu, só no início deste século é que se arrancou para a elaboração de um documento que integrasse as normas, métodos e documentos existentes, processo realizado através do projecto RIMAP para a criação da metodologia RBIM. Este projecto foi completado em 2005, dando origem ao ETPIS, financiado pelo 7º Programa Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia.

Na avaliação de risco há vários conceitos importantes, que devem ser tidos em consideração. Perigo e risco são dois conceitos básicos que não devem ser confundidos, pois o perigo é um potencial de degradação e não a degradação em si, enquanto o risco é a probabilidade de ocorrência de um evento com efeitos nefastos. Por outras palavras, o risco é uma medida de perda, quer em termos da probabilidade de ocorrência de um incidente, quer da magnitude das suas consequências [6] Assim, a probabilidade de falha e as consequências dessa falha são dois conceitos de elevada importância na determinação do risco.

A PoF é uma estimativa que engloba a cadeia de acontecimentos, desde a falha até à reparação, entrando na sua determinação a fiabilidade dos componentes e a dos técnicos.

Dependendo dos objectivos e das entidades, a PoF pode ser classificada de forma qualitativa ou quantitativa (descritiva ou numérica), sendo a primeira mais conservativa e menos detalhada. Na qualificação ou na quantificação, as várias entidades aplicam gamas de valores diferentes conforme as suas necessidades e seus objectivos (e.g. Frequente, Provável, Ocasional, Remota e Improvável).

As fontes de informação necessárias para estimar a PoF são os dados históricos e estatísticos, a modelação e previsão de modos de falha, o juízo experimentado e as melhores práticas, para além de outras complementares, como literatura adicional sobre o tema. A informação é recolhida e tratada seguindo diagramas lógicos, como os apresentados no projecto RIMAP.

Uma CoF é o resultado ou consequência de um acontecimento ou ocorrência e, à semelhança da probabilidade, pode ser expressa qualitativa ou quantitativamente. O seu método de cálculo deve respeitar os requisitos legais ao nível da Saúde, Segurança e Ambiental e, adicionalmente, ser capaz de lidar com os aspectos económico-financeiros como os custos de reparação e de perda de produção.

Enquanto o RIMAP utiliza estes quatro grupos para avaliação das CoF, o *DRAFT DOC API* apresenta somente três: Ambiental, Populacional e Negócio. Não significa que não estejam cobertas todas as consequências existentes numa determinada instalação que faça uso do *DRAFT DOC API* ou o documento final do projecto RIMAP. No entanto, não foi possível verificar se tal acontece devido a não se ter tido acesso ao documento final RIMAP.

Realça-se que uma qualquer CoF elevada, ou que seja grave, deve permanecer elevada ou grave, mesmo que a consequência económica respectiva seja baixa. [16]

O método RBI tem como características [11] mais importantes a abordagem *top-down*, ser vivo e flexível na procura da plenitude, e utilizar eficientemente métodos analíticos cujos resultados são facilmente reconhecidos pelos inspectores.

É uma extensão lógica das estratégias tradicionais, diminuindo o esforço de manutenção endereçando esse esforço para os componentes críticos, aproximadamente 20% da sua

totalidade, que apresentam uma maior probabilidade de falha e que podem causar mais danos. [17]

Esta metodologia, conforme referem os vários autores estudados, é utilizada para determinar a PoF e CoF na avaliação de risco, podendo esta ser definida por modelos qualitativos, semiquantitativos ou quantitativos. Esta definição depende dos objectivos e da abordagem desejada para um determinado tipo de avaliação de risco. [18] [19] [21] [22]

A avaliação qualitativa é conservativa, mas rápida e fácil de efectuar, constituindo uma abordagem inicial ao risco efectuada com base em juízo experimentado e melhores práticas. A semi-qualitativa utiliza a combinação da avaliação qualitativa com a quantitativa, enquanto na última se utiliza a análise de fiabilidade de um equipamento ou componente para a determinação da PoF e CoF para cada cenário de acidente. É um método de avaliação mais detalhado e preciso, devendo ser aplicado se nos outros tipos de avaliação o equipamento ou componente for classificado como de risco mais elevado.

Os valores da PoF e CoF encontrados podem ser então dispostos numa matriz de risco que pode ter vários formatos, 3x3 ou 5x5, entre outros, onde na respectiva quadrícula se visualizará o risco de determinado evento. [20] [23]

A RBIM é a referencia que o RIMAP faz com a junção da RBI, que tradicionalmente é uma avaliação de risco direccionada para as consequências relacionadas com a Saúde, Segurança e Ambiente, com a Manutenção Baseada no Risco (RBM), mais direccionada para as consequências e seus os impactos nos âmbitos económico financeiros.

Quer se efectue uma avaliação de risco RBI ou RBIM, deve existir um procedimento que englobe os elementos essenciais dum plano de inspecção e manutenção baseada no risco, independentemente do tipo de avaliação ser qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa. Esse procedimento deve conter seis elementos, sendo eles a análise preliminar, recolha e validação de dados, análise de risco multicritério, decisão e plano de acção, implementação e avaliação da eficiência.

A análise preliminar deve ser efectuada por uma equipa multidisciplinar, devendo ser identificados os objectivos, como por exemplo os cenários possíveis, mecanismos de degradação, regulamentos a considerar ou "ferramentas" a utilizar.

Na recolha e validação de dados deve ser considerada toda a informação disponível, desde históricos de inspecção e manutenção, passando pelos esquemas e desenhos da instalação até dados e resultados encontrados noutras metodologias de manutenção (e.g. RCM, HAZOP).

A identificação dos perigos e dos modos de degradação e modos de falha relevantes são apontados na análise de risco. Esta pode ser efectuada em três níveis ou critérios de análise, a inicial, a intermédia ou detalhada, conforme se olha para a instalação do todo para o particular. O detalhe aumenta à medida que diminui o número de equipamentos, caminhando-se da panorâmica inicial para a observação detalhada. Isto significa que a análise inicial é um procedimento simples e rápido e a detalhada mais exigente por ser mais pormenorizada e implicar maior volume de trabalho.

Decidir e optar por um plano de acção consiste na revisão da operação e na avaliação da condição, isto é, verificar se as causas de falha podem ser identificadas e eliminadas eficazmente de modo a se implementar procedimentos e modificações. Caso contrário dever-se-á efectuar uma série de passos para a aplicação de uma estratégia de inspecção e manutenção para a sua redução, bem como para a diminuição dos custos mantendo o risco aceitável.

Da decisão e plano de acção saem as linhas directrizes das acções a serem implementadas. Assim, cabe à fase de implementação executar as orientações de acordo com a estratégia de inspecção e manutenção estabelecidos no nível anterior, através de ordens de trabalho, de documentação de suporte e do controlo e monitorização do trabalho.

Este controlo deve fazer uso de sistemas informatizados de gestão da manutenção, contendo informação técnica, planos de manutenção, gestão das ordens de trabalho e relatórios de manutenção e análise. Os relatórios devem permitir identificar os atrasos nos trabalhos programados, trabalho efectuado não planeado, fiabilidade dos sistemas de segurança, só para citar alguns itens, para que neste passo se mantenha o risco controlado em níveis aceitáveis.

O objectivo da avaliação da eficiência é analisar a efectividade e o impacto dos programas de inspecção e manutenção, de modo a serem identificados melhoramentos e

alterações, direccionados para os objectivos desejados, Segurança, Saúde, Ambientais e Económicos.

Para tal, é necessária a definição de objectivos no processo de tomada de decisão, e a definição de KPI como medida do processo na precursão dos objectivos.

Esta avaliação pode ser efectuada pelos métodos Processo de Validação da Eficiência e Reavaliação Interna e Externa.

O processo de validação da eficiência consiste numa classificação de cinco níveis para a avaliação dos dados e informação, conhecimento, precisão, controlo e confiança, entre outros parâmetros.

A reavaliação interna deve ser um processo activo e permanente, fazendo parte integrante de um procedimento de avaliação no processo de tomada de decisão de risco global da instalação. A reavaliação externa consiste numa auditoria de uma entidade independente e imparcial detentora de uma visão diferente. Estes dois métodos podem ser integrados permitindo a identificação de melhoramentos necessários à gestão global da instalação.

A metodologia RBIM permite a avaliação e desenvolvimento de programas de inspecção de instalações, complexos industriais, parque de reservatórios de combustíveis, entre outros, tendo por sustentação os registos de acções de manutenção anteriores, manuais do fabricante de cada um dos componentes que o constituem. Baseia-se na análise e avaliação de cada componente das instalações, orientando os resultados obtidos para a sua manutenção, através da avaliação das consequências e avaliação da probabilidade de falha, identificando os mecanismos de falha e finalizando com a avaliação de risco.

A análise e avaliação dos registos permitem identificar os componentes críticos, de modo a serem definidos o tipo de manutenção e periodicidade. Deve ser contínua, isto é, devem ser efectuadas análises periódicas/regulares de modo a se poder reavaliar as acções de manutenção sempre com o objectivo de melhorar a segurança e a fiabilidade bem como a diminuição de custos.

A RBIM é muito similar à metodologia RCM, principalmente na matriz de risco, na FMECA e na árvore de falhas. Ambas olham para a instalação do todo para o particular,

aplicando o conceito *top-down*, e fazem uso de diagramas lógicos para a identificação da probabilidade e consequências de falhas, requerendo uma equipa de especialistas.

A RBIM é uma metodologia direccionada para as estruturas, equipamentos estáticos, enquanto a RCM é fundamentalmente direccionada para equipamentos dinâmicos, embora possa ser também aplicada em equipamentos estáticos.

O ponto forte da RBIM, relativamente à RCM, reside na natureza da avaliação, através da visão do risco como sendo o produto da PoF com a CoF, e da quantidade de dados técnicos disponíveis sobre taxas de corrosão, propriedades dos materiais e métodos de inspecção. Por outro lado, é relativamente fraca na determinação de custos com inspecções ou na monitorização da condição, e nas alternativas de tratamento de risco, onde a RCM é forte.

Um dos aspectos a considerar numa avaliação de risco são os modos de degradação e os END para determinação do estado de degradação dos componentes de uma instalação. Estes não foram estudados, apenas tendo sido referidos os mais relevantes nas instalações, que de um modo ou de outro, entram em contacto com produtos petrolíferos.

A instalação aqui estudada é inspeccionada e mantida ao abrigo da legislação Portuguesa e de regulamentos e acordos da NATO que Portugal está obrigado a cumprir. Relativamente à legislação Portuguesa, verificou-se que existem decretos em vigor com 70 e 61 anos, respectivamente o Decreto n.º 29 034, de 1 de Outubro de 1938 e o Decreto n.º 36 279, de 9 de Maio de 1947.

A manutenção efectuada baseia-se, principalmente, nos números 2 e 3 do art. 16.º do Capítulo V do Decreto n.º 29 034, do número 1 do Art. 19.º do Capítulo III do Decreto-Lei n.º 267/2002, e, a nível da NATO, pelo STANAG 3609.

Foi efectuada uma avaliação de risco à instalação com base no apêndice A do *DRAFT DOC API*, optando-se por utilizar, numa análise conservativa, a avaliação destinada a depósitos superficiais por não existirem documentos disponíveis que permitissem uma avaliação de depósitos enterrados.

Os cenários estudados foram, para o depósito, as frequências de fuga lentas e rápidas no fundo, frequência de fugas lentas e rápidas na parede, frequência de sobre enchimento e

frequência de sobre enchimento do autotanque. Estes cenários foram analisados recorrendo aos formulários encontrados no *API Risk Assessment Workbook*, apêndice C.

Com base nestes formulários foi elaborado uma programação em folhas de cálculo do *Microsoft Excel*, para automatização de cálculo de seis cenários, podendo ser optimizado para mais eventos.

Foram então calculados a PoF e as CoF dos cenários estudados, com base no formulário apresentado no *DRAFT DOC API*, e apresentados numa matriz de risco. Aí identificaram-se os riscos que cada um deles representa.

Verificou-se que, pela matriz de risco, apenas um cenário apresenta um risco médio, necessitando de ser mitigado de modo a ser deslocado para níveis de risco aceitáveis. Esse cenário não está ligado directamente com o reservatório, pois consiste no cenário de fuga de líquido durante o enchimento do autotanque.

Dois outros cenários podem ser objecto de mitigação: as fugas lentas no fundo e o sobre-enchimento, pois encontram-se na zona de risco baixo.

Os resultados obtidos, com excepção do autotanque, são aceitáveis uma vez que as consequências são extremamente baixas, pois o local onde a instalação se encontra não influencia nenhum nicho ecológico ao nível ambiental, não tem impacto na comunidade circundante a instalação possui um plano de resposta a incidentes ao nível populacional. Por se tratar de uma entidade de serviço público, não podemos considerar relevantes as perdas de negócio ou efeitos no valor da propriedade.

Esta avaliação, que foi a primeira abordagem a instalações militares usando a metodologia RBIM, permitiu chegar a algumas conclusões:

- Embora as avaliações de risco sejam menos conservativas, permitiu fazer a validação de métodos pelo API.
- Embora os depósitos de armazenamento sejam regidos por regulamentação específica, a utilização do RBIM permite uma abordagem menos conservativa, podendo usar-se em caso de necessidade (inspecção em determinados períodos de não execução de operações de manutenção).
- Os custos podem ser minimizados, ou pelo menos melhor aproveitados, efectuando acções de manutenção mais focalizadas.

- A extrapolação para instalações similares civis é directa, e pode ser usado com os benefícios correspondentes.
- A utilização da matriz de cálculo pode ser estendida para explorações de maior dimensão.

Apesar do seu carácter pioneiro, muito mais se poderia referir nesta área complexa, no que respeita à avaliação de risco, estudo de modos de degradação e END, estudo da legislação em vigor, e estudos e avaliações complementares à instalação. Como exemplo, enumeram-se algumas sugestões:

- Verificar a existência de incompatibilidades entra a "velhinha" legislação e os procedimentos RBIM comummente utilizados;
- Verificar em que pontos o STANAG 3609 pode ser direccionado para a aplicação da RBIM na NATO, e quais as vantagens que podem advir da opção por este tipo de metodologia para as suas forças;
- Avaliação do estado de degradação dos vários componentes existentes na instalação aqui estudada;
- Monitorização permanente do estado de degradação das tubagens e quais os processos mais indicados para o efectuar;
- Identificar o melhor ou os melhores END a utilizar nas inspecções programadas;
- Melhorar a programação efectuada em Excel, utilizando todos os recursos aí existentes;
- Comparar os vários programas de gestão de risco existentes através da sua aplicação na instalação estudada;
- Efectuar a mitigação através dos estudos de soluções que possam baixar o risco do cenário de sobre enchimento do autotanque;
- Comparar os formulários apresentados pelo *DRAFT DOC API* com os apresentados no RIMAP, a que não foi possível ter acesso.

- Estudar a participação Portuguesa no projecto RIMAP e quais os ensinamentos adquiridos;
- Estudar o ETPIS e a participação portuguesa e verificar os benefícios de tal participação.

Como a manutenção é um “ser vivo” em constante evolução, como temos verificado com o surgimento, ao longo dos anos, das várias metodologias de manutenção, sempre com a “pressão” da minimização de custos e maximização da performance, também a RBIM se encontra a evoluir.

Tem-se assistido a uma combinação de esforços a nível Europeu para criação de procedimentos, nomeadamente através o projecto RIMAP, com a participação Portuguesa através do ISQ, que evoluiu para o ETPIS, ponto onde a Europa se encontra actualmente no que diz respeito à Segurança Industrial. O ETPIS busca a perfeição, talvez utópica, de uma Europa sem acidentes, com as vantagens que daí advêm.

9 Bibliografia

[1] Chang, M.K., Chang, R.R., Shu, C. M., Lin, K.N.(2005), *Application of risk based inspection in refinery and processing piping*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. ELSEVIER.

[2] Jovanovic, A.(2002) *Optimizing Component Life Management in Fossil Power Plants by Means of a Risk- Based Approach: Review of European Practice and Application Examples*. MPA Stuttgart.

[3] *Operational Risk Management*. Air Force Instruction 90-901. 1 April 2000.

[4] Schröder, H.C., Kauer, R.(2004). *Regulatory Requirements Related to Risk-based Inspection and Maintenance*. International Journal of Pressure Vessels and Piping 81. Science Direct. ELSEVIER.

[5] Kauer, R., Jovanovic, A., Angelsen, S., Vage, G.. *Risk-Informed Plant Asset Management RIMAP (Risk-Based Inspection and Maintenance for European Industries) The European Approach*.

[6] *Managing Systems Integrity of Terminal and Tank Facilities*, API Publication First Edition. Ballot. January 12, 2006.

[7] Alkaim, J.L.(2003). *Tese Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em activos de sistemas eléctricos*. Universidade Federal de Santa Catarina.

[8] *MIL-HDBK-2173 (AS), Handbook for Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment.* DoD, 30 January 1998.

[9] Vacha, F.J. (s/d). *Is Risk Based Inspection the Right Approach for You?*, Applied Integrity and Reliability Consulting.

[10] Picanço J.R.S. (2003) *Análise da Produtividade na Manutenção Industrial, Um Caso no Núcleo da DETEN QUÍMICA S.A.* Universidade Federal da Bahia.

[11] BaiY. (2003).*Marine Structural Design*. ELSEVIER.

[12] EPA 510-R-04-001.*Underground Storage Tanks: Building on the Past to Protect the Future*. EPA, Março 2004.

[13] *Report on Current Practice*. © Copyright 2004 RIMAP Consortium.

[14] Cameron, I.T., Raman, R. (2005) *Process Systems Management*. ELSEVIER.

[15] *RIMAP CEN Workshop Document.* CEN Workshop 24. Abril 2007.

[16] Angelsen, S., Johansson, M. e Vage, G.*Consequence of failure in the RIMAP project - overall model*.Asset Operations Management. DNV.

[17] *Risk based inspection – a knowledge-based approach maximize maintenance efficiency and system availability*. Process Worldwide – Chemical and Pharmaceutical Engineering. (01-2006).

[18] Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment (AB-505) Issued 2005-08-19 Revision 1, ABSA the pressure equipment safety authority (2005).

[19] Khan, F.I. e Haddara, M. M. (2003). *Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning.* Journal of Loss Prevention in the Process Industries, ELESEVIER.

[20] Best Practice for Risk Based Inspection as a Part of Plant Integrity Management, Health & Safety Executive, 2001.

[21] Patel, R.J. Middle East Nondestructive Testing Conference & Exhibition – Baharain, Manama, 27-30 Nov 2005.

[22] Montenegro, B. e Tischuk, J.L. *IBR – Estudo de caso – Comparação de uma metodologia qualitativa e uma semi quantitativa*. ABS Group / Tischuk International. 6ª COTEC 19 a 21 Agosto de 2002.

[23] *Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process. Management Manual.* NAVAIR 00-25-403, Naval Air Command, 31 October 1996.

[24] Tischuk, J.L. *API RP 580 Qualitative – An Alternative Approach.*6ª COTEQ. Agosto 2002.

[25] R. Peterson. *Risk Based Inspection as Part of an Overall Inspection Management Program.* Metegrity Inc.

[26] Woodhouse, J.(2001). *Combining the best bits of RCM, RBI, TPM, TQM, Six-Sigma and other "solutions"*. The Woodhouse Partnership Ltd.

[27] Jhagroo, K. *Petrotrin's Initiatives towards Asset Integrity and Reliability Improvemets in the Pointe-a-Pierre Refinery*. APETT Journal. Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago.

[28] STANAG 3784 (Edition 4) – *Technical Guidance For The Design and Construction of Aviation and Ground Fuel Installations on NATO Airfields*. Military Agency for Standardization. 18 June 1999.

[29] MIL-STD-1518C, *Storage, Handling, and Servicing of Aviation Fuels, and Hydraulic Fluids at Contractor Facilities*. SATANDART PRACTICE, DoD, 1February2003.

[30] MIL-844(AS), *Aircraft Refueling Handbook*, Naval Air Systems Command, 20 October 1992.

[31] *Manual de Combustíveis e Lubrificantes*, MCLAFA 418-2, FAP, Novembro 1995

[32] STANAG 3609 (Edition 4) – *Standards for Maintenance of Fixed Aviation Fuel Receipt, Storage and Dispensing Systems*. NATO Standardization Agency. 21 September 2005.

ANEXOS

Anexo A

Anglicismos

Breakdown Maintenance – A reparação ou correcção, de um equipamento ou sistema, após a ocorrência de uma anomalia ou falha é um tipo de Manutenção não programada é conhecida como Manutenção Correctiva *CM* (CORRECTIVE MAINTENANCE).

Maintenance Steering Group – grupo de trabalho cujo objectivo é identificar acções de manutenção em aeronave de modo a manter a aeronavegabilidade.

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis – é uma metodologia desenvolvida para identificar os modos de falhas potenciais num componente, avaliar o risco associado aos modos de falhas e identificar e realizar acções correctivas nos componentes críticos.

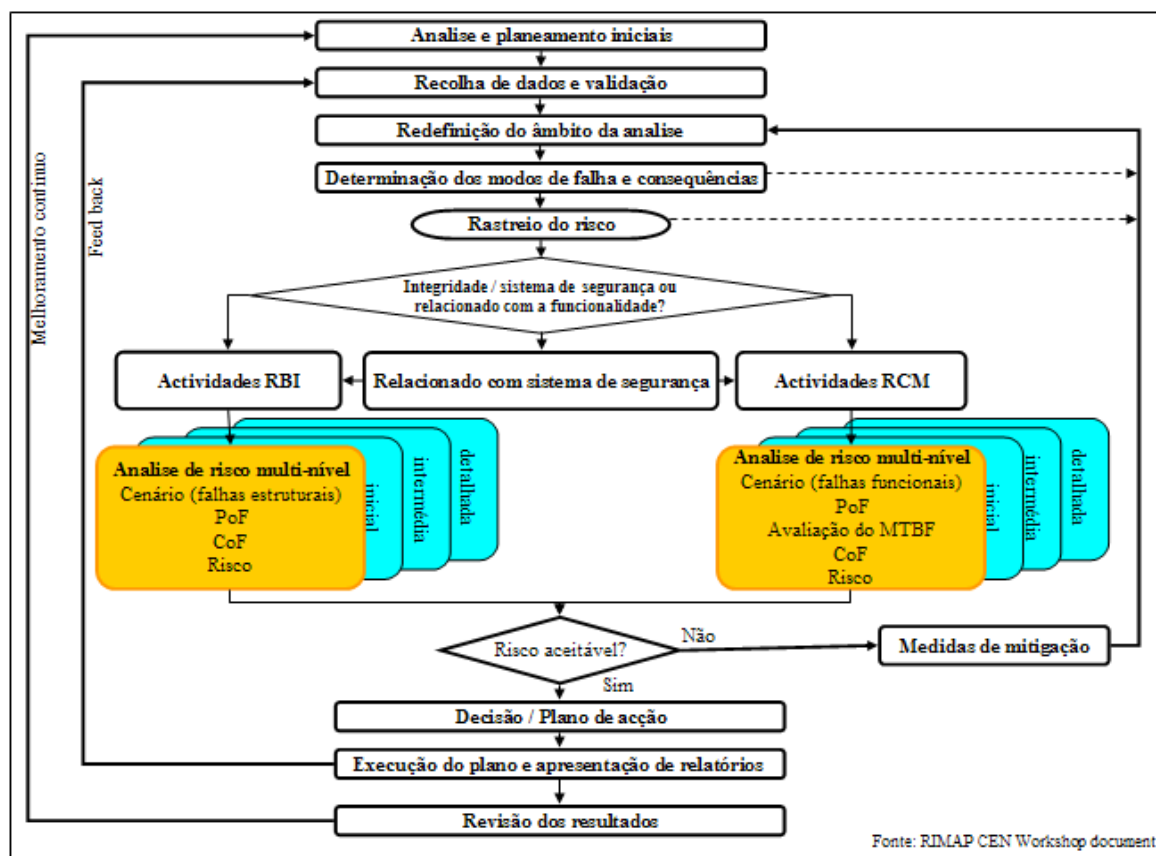
Hard Time – remoção calendarizada de um componente com implicação de imobilização do componente ou instalação.

Pitting – Uma forma de corrosão por pontos extremamente localizada de aspecto alveolar.

Overhaul – “É a designação em língua portuguesa de Revisão Geral. Também designado em linguagem anglo-saxónica por "*OH*". Este termo normalmente corresponde aos trabalhos de desmontagem, inspecção, correcção de anomalias, montagem e ensaio, quando aplicado a um conjunto. É ………. *OH*”. - In ***eaglesgate**.**com*** **< http://www.geocities.com/egnnews/glossario3.htm#oh >**

Anexo B

Procedimento

Diagrama lógico do procedimento RIMAP para a avaliação RBIM, constante no *RIMAP CEN Workshop Document* no CEN Workshop 24.

Análise multicritério, constante no documento do RIMAP atrás referido:

Topic	Activities involved in Screening Risk Assessment	Common for both Screening & Detailed Risk Assessment	Activities involved in Detailed Risk Assessment	Specific for Detailed Risk Assessment
A. Identify hazards	• Identify the relevant hazards for each system within the boundaries of the scope of work.	• Input from initial analysis and planning • Identify the relevant hazards for each system within the boundaries of the scope of work	See chapter 3.3.4.A do RIMAP CEN Workshop	
B. Identify relevant damage mechanisms and failure modes	• Determine the operating conditions, upsets, likely excursions, as well as future process conditions should be taken into account to identify the possible degradation and/or failure likely to occur.	• Review the applicability of Damage mechanism classification (e.g. RIMAP I 3.1[3], OREDA [23], API [13]) and exclude those mechanism which do not apply	See chapter 3.3.4.B do RIMAP CEN Workshop	• Determine Operating and design conditions, Upset conditions • Determine susceptibility windows of degradation mechanisms. • Characteristics of potential degradation mechanisms, e.g. local or overall degradation, possibility of cracking, detectability (in early or final stage). • Mechanical loading conditions • Geometry and structure of each piece of equipment from the point of view of susceptibility to damage mechanisms
C. Determine probability of failure (PoF)	• For each hazard identified in each system, the PoF should be assessed. • PoF should be determined for the pre-defined time frame. • The estimate should be conservative and based on the available information and expert judgment. • When the PoF has been determined, it should be assessed whether the PoF is high or low. This amounts to determining whether the PoF is higher or lower than a predefined limit. • If this is difficult one may set the PoF equal to 1 and perform a consequence screening	• Predefined time frame (from initial analysis and planning) • Maintenance and inspection history of the item of equipment under consideration. • Specification of the operating window including factors which can be influenced by the operation of the process (e.g. temperature, pressure) as well as factors which cannot be influenced by the operation (e.g. composition of the process medium). • Experience with similar equipment, e.g. average probability data from a relevant database. • Plant specific experience (data or soft knowledge).	See chapter 3.3.4.C do RIMAP CEN Workshop	• Value of expected residual lifetime • Weighing system/factor to take account of the uncertainty of prediction • prediction of lifetime based on measured inspection data, a calculation making use of operating conditions, or expert opinion. Specific analysis tools may be used, e.g. probabilistic (safety) analysis and/or fitness for purpose analysis. • For non-trendable degradation mechanisms for which progress cannot be properly monitored or predicted (e.g. stress corrosion cracking), it should be demonstrated that degradation is prevented or detected early by means of sufficient measures to be taken (inspection, maintenance, operation). A methodology should be available in which the relation between the effectiveness of measures (type, scope and frequency) and probability of failure is given. • Handling of unknown damage mechanisms.
D. Determine consequence of failure (CoF)	• The worst possible outcome of a failure should be established. The safety, health, environment, and economic consequences shall be considered. Other consequences as quality of production and business impact may also be included. • When the CoF has been assessed it should be decided whether it is high or low, depending on whether the CoF is above or below a predefined limit. Possible limits are • Safety consequences: Any failure which may lead to injury of personnel. • Environmental consequence: Release of toxic substances. • Economic consequence: any failure leading to loss of production or assets	• Composition of the contained fluid and its physical/chemical properties • Pressure, temperature and total amount of fluid available of release • Depending on national regulations more data, e.g. the final phase of the fluid on release into the atmosphere, the dispersal characteristics of the fluid at the site, mitigation systems such as water curtains, measures for detection of the leak/break. • If it is desired to include the potential leak/break area then the failure mode and the pipe/vessel size must be entered. • If it is desired to include business impact then the financial effect of production loss as well as repair/replacement costs must be entered. • If it is desired to include publicity damage then a financial value must be entered expressing the negative effect on future business. • For hazards with consequences other than fluid release, appropriate information on the nature and extent of the	See chapter 3.3.4.D do RIMAP CEN Workshop	• Characteristics of the relevant degradation mechanisms, e.g. local or overall degradation, possibility of cracking, detectability (in early or final stage). • If containment is considered, the composition of the contained fluid and its physical/chemical properties, the pressure, temperature and total amount of fluid available of release shall be available. To obtain satisfactory CoF assessments may in this case often require to defining a number of scenarios, e.g., small leakage, large leakage, and full rupture. • Credit may be taken for passive mitigating systems. • Consequences should also be assessed for hidden failures and test independent failures • Identify barriers.

Topic	Activities involved in Screening Risk Assessment	Common for both Screening & Detailed Risk Assessment	Activities involved in Detailed Risk Assessment	Specific for Detailed Risk Assessment
		consequence is required		
E. Determine risk and classify equipment	• Determine the categories in which PoF and CoF are classified using the risk matrix shown in Figure 5: Screening risk matrix • Determine the risk category of the equipment • Based on the screening results the systems or groups of equipment should be given a low, medium or high risk. • Systems or groups of equipment with a high risk should be considered in a detailed assessment. • Systems of groups of equipment that have medium risk should be considered for maintenance. • Finally, for the low risk systems or groups of equipment the assumptions should be periodically checked. This may amount to verifying that the basic assumptions are satisfied, e.g. coating is satisfactory or that the operating conditions remain unchanged. For low risk systems minimum surveillance is required. • Medium and high risk systems should be considered in the detailed analysis. In any case, regulatory requirements should also be taken into account.	Risk acceptance criteria (input from initial analysis and planning)	See chapter 3.3.4.E **do RIMAP CEN Workshop**	• Determine risk to people (second and third parts)

Tipos e especificações de degradações em serviço.

Event, problem, issue	Id. and type of damage or disturbances / deviations, functional problems	Subtypes / specifics / further details / examples
MATERIAL DAMAGE RELATED PROBLEMS	I. Corrosion/erosion/environment related damage, leading to:	
	I.A Volumetric loss of material on surface (e.g. thinning)	I.A1 General corrosion, oxidation, erosion, wear, extended thinning
		I.A2 Localized (pitting, crevice or galvanic) corrosion
	I.B Cracking (on surface, mainly)	I.B1 Stress corrosion (chloride, caustic, etc.), cracking
		I.B2 Hydrogen induced damage (incl. blistering and HT hydrogen attack)
		I.B3 Corrosion fatigue
	I.C Material weakening and/or embrittlement	I.C1 Thermal degradation (spheroidization, graphitization, etc. incl. incipient melting)
		I.C2 Carburization, decarburization, dealloying
		I.C3 Embrittlement (incl. hardening, strain aging, temper embrittlement, liquid metal embrittlement, etc.)
	II. Mechanical or thermo-mechanical loads related, leading to:	
	II.A Wear	II.A1 Sliding wear
		II.A2 Cavitational wear
	II.B Strain / dimensional changes	II.B1 Overloading, creep
		II.B2 Handling damage
	II.C Microvoid formation	II.C1 Creep
		II.C2 Creep-fatigue
	II.D Micro-cracking, cracking	II.D1 Fatigue (HCF, LCF), thermal fatigue, (corrosion fatigue)
		II.D2 Thermal shock, creep, creep-fatigue
	II.E Fracture II.E1 Overloading	II.E2 Brittle fracture
	III. Other structural damage mechanisms	
DISTURBANCES / DEVIATIONS / PROBLEMS (not related to structural materials)	IV. Fouling / deposits (without fluid flow disturbances)	
	V Fluid flow disturbances	
	V.A High / low fluid flow (HFF/LFF)	
	V.B No fluid flow (NFF)	
	V.C Other fluid flow problems (OFFP)	
	VI. Vibration (VIB)	
	VII. Improper dimensioning, improper clearances	
	VIII. Deliberate man made disturbance	
	IX. Fires, explosions and similar	
	X. Damage and/or loss of function due to other causes	
	X.A External leakage (EXL*)	
	X.B Improper start or stop - failed to start/stop (FTS*)	
	X.C Failed while running (FWR*)	
	X.D Overheated (OHE*)	
	X.E Other (OTH*)	

Anexo C

Classificação dos tipos de deterioração e a correspondência com os métodos de ensaio aconselhados.

What **type of damage**		***How*** **to look for it** [4 5]		***Measure of uncertainty/risk for selected/preferred method*** [6]				
Identifier and Type of damage	Damage specifics, damage mechanism	best POD[7]	most cost effective	selected method	POD for defect size of or size for			FCP[7]; comments, examples
					1 mm	3 mm	90% POD	
I. Corrosion/erosion/environment related damage, equating or leading to:								
I.A Volumetric loss of material on surface (e.g. thinning)	I.A1 General corrosion, oxidation, erosion, wear solid particle erosion	*DiM, VT, ET, UT*[8]	*UT, (VT), DiM*	*UT*	30÷70%	50÷90%	2 mm	
	I.A2 Localized (pitting, crevice or galvanic) corrosion	*UT, DiM, ET*	*VT, UT*	*UT*	30÷70%	40÷90%	2 mm	see [9]
I.B Cracking (on surface, mainly)	I.B1 Stress corrosion (chloride, caustic, etc.)	*MT, PT, ET*	*MT, PT, ET*	*ET*	max 85%	40÷90%	4±2 mm	<5% [10]
	I.B2 Hydrogen induced damage (incl. blistering and HT hydrogen attack)	*UT, MT, PT, ET*	*MT, PT*[11], *MT*[12]	*UT*	*na*	*na*	*na*	*na*
	I.B3 Corrosion fatigue	*MT, PT, ET, VT*	*MT, PT, UT*	*UT*	80÷96% [13] 86÷98% [14]	50÷99% [13,15] 95÷99% [15]	3±1 mm [13,16] 0.8±0.4 mm [17]	

[3] Given measures of uncertainty/risk are given only where possible/appropriate and only as examples - in each particular case the user is advised to provide best possible data as function of material, type of component, inspection conditions, inspector's qualification, etc.; the "selected method" is sometimes simply the one where sample data were available
[4] proposed/ranked inspection methods
[5] monitoring (on-line monitoring) not included – in some cases like in the cases of e.g. AE it can difficult to strictly distinguish between "inspection" and "monitoring"
[6] if not mentioned otherwise all based on re-assessment of data of Rummel, Matzkanin, 1997 [34]
[7] see acronyms in the main list of acronyms
[8] AE - acoustic emission; PT - penetrant testing; DiM - dimensional measurements; XT - radiographic testing; VbM - vibration monitoring; DsM – on-line displacement monitoring; StM - on-line strain monitoring; VT - visual inspection; ET – Eddy current testing; UT- ultrasonic testing; VTE - visual inspection by endoscope; MeT - metallography, including RpT (replica technique); MST - material sample testing; na - not applicable
[9] the estimate can be affected significantly by local effects (e. g. small-scale pits can remain completely undetected)
[10] ET for non-ferromagnetic materials, sample results Rummel, Matzkanin 1997: ETAAA01-B
[11] surface, also
[12] subsurface
[13] crack length
[14] crack depth

***What* type of damage**		***How* to look for it [4] [5]**		***Measure of uncertainty/risk for selected/preferred method*[6]**				
Identifier and Type of damage	Damage specifics, damage mechanism	best POD[7]	most cost effective	selected method	POD for defect size of or size for			FCP[7]; comments, examples
					1 mm	3 mm	90% POD	
I.C Material weakening and/or embrittlement	I.C1 Thermal degradation (spheroidization, graphitization, etc. incl. incipient melting)	*MeT*	*MeT*	*MeT*	(microscopy) ~100% POD for cracks > 1 mm, 90% POD crack ca. 0.05 mm; main "reliability related problems" linked to wrong sampling, wrong preparation and wrong interpretation of replicas (all numbers are very rough "guesstimates")			
	I.C2 Carburization, decarburization, dealloying	*MeT*	*MeT*	*MeT*				
	I.C3 Embrittlement (incl. hardening, strain aging, temper embrittlement, liquid metal embrittlement, etc.)	*MST*	*MST*	*MST*	*na*	*na*	*na*	
II. Mechanical or thermomechanical loads related, leading to:								
II.A Wear	II.A1 Sliding wear	*VT, DiM, ET*	*VT, UT*					
	II.A2 Cavitational wear							
II.B Strain / dimensional changes	II.B1 Overloading, creep,	*DiM*	*DiM*	*DiM*	*na*	*na*	*na*	required resolution ≤ 0.1 mm or 0.5 %
	II.B2 Handling damage							
II.C Microvoid formation	II.C1 Creep	*MeT*	*(UT), MeT*					
	II.C2 Creep-fatigue							

[15] for welds as low as 20%
[16] usually more than 5 mm for welds or steels
[17] can be more than 5 mm for welds

What **type of damage**		***How*** **to look for it** [4] [5]		***Measure of uncertainty/risk for selected/preferred method*** [6]				
Identifier and Type of damage	Damage specifics, damage mechanism	best POD[7]	most cost effective	selected method	POD for defect size of or size for			FCP[7]; comments, examples
					1 mm	3 mm	90% POD	
II.D Microcracking, cracking	II.D1 Fatigue (HCF, LCF), thermal fatigue, (corrosion fatigue)	*UT, (MT/PT), ET, VT*	*MT/PT*	*PT*	max 90%	20÷90%	1.5÷6.5 mm [18]	
	II.D2 thermal shock, creep, creep-fatigue			*MT*	5÷90%	50÷90%	2.5÷10 mm [19]	
II.E Fracture	II.E1 Overloading	*VT, DiM*	*VT*	*VT*	*na*	*na*	*na*	analysis of causes
	II.E2 Brittle fracture							

[18] typical range; in extreme cases 0.5÷12 mm or more; more uncertainties for welds – but cracks transverse to welds detected easier than the longitudinal ones
[19] typical range; in extreme cases 1÷18 mm or more; applicable for ferromagnetic materials (steels)

Anexo D

Projecto e fotografias da instalação.

SECTION B-B
SCHNITT

GROUND PLAN-FLOOR SLAB
GRUNDRISS-BODENPLATTE

SECTION A-A
SCHNITT

TOP VIEW
DRAUFSICHT

C-5.1

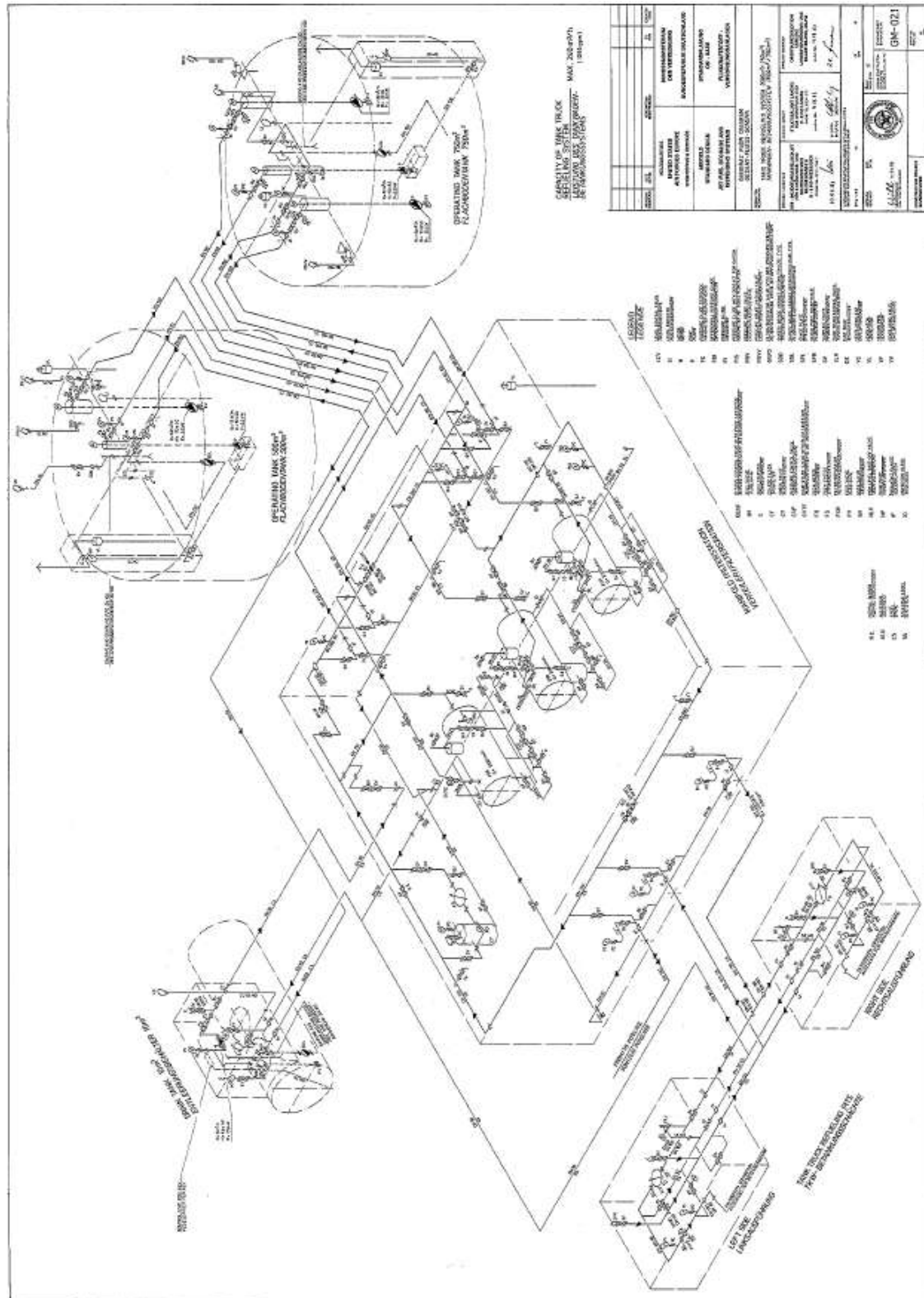
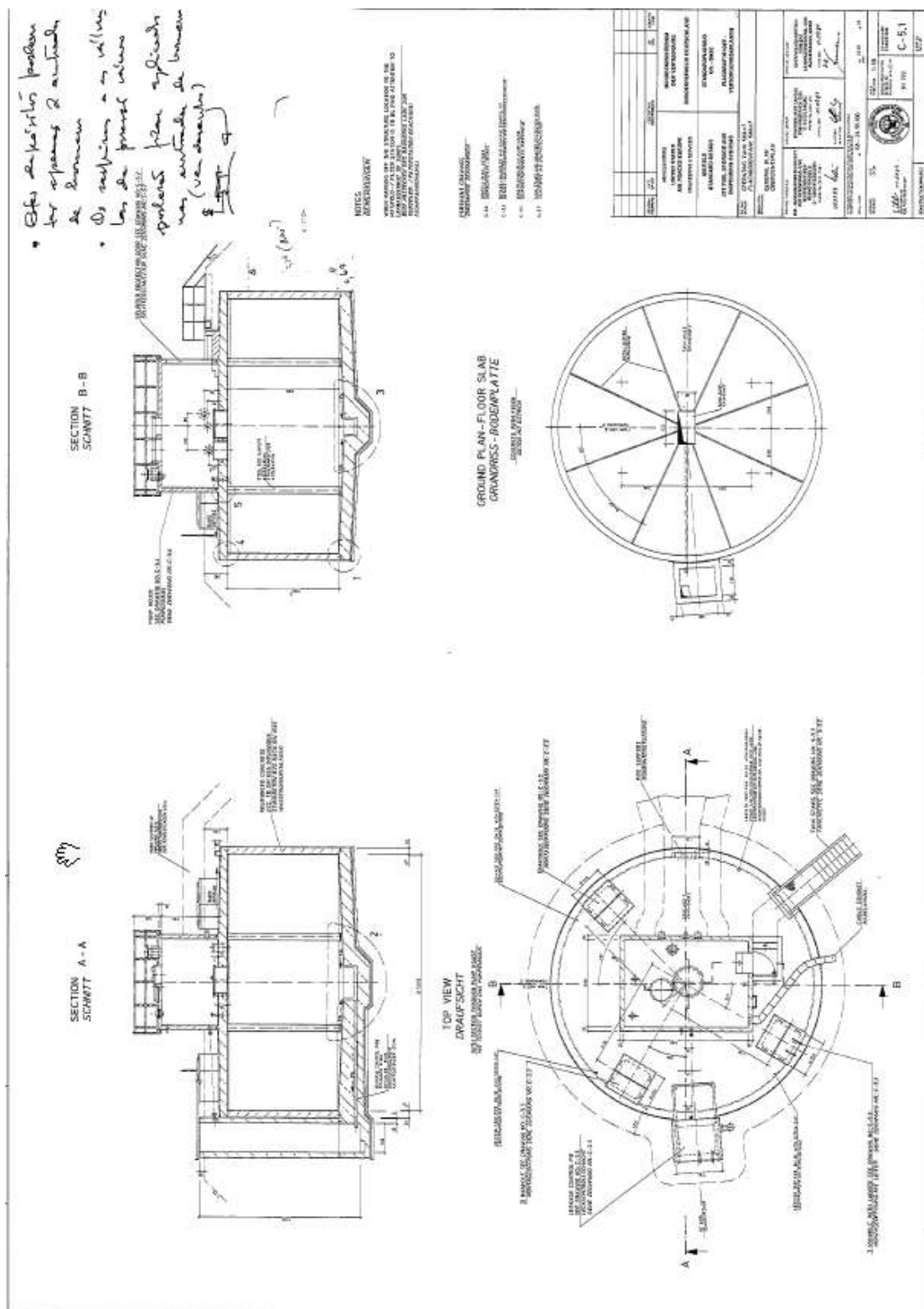
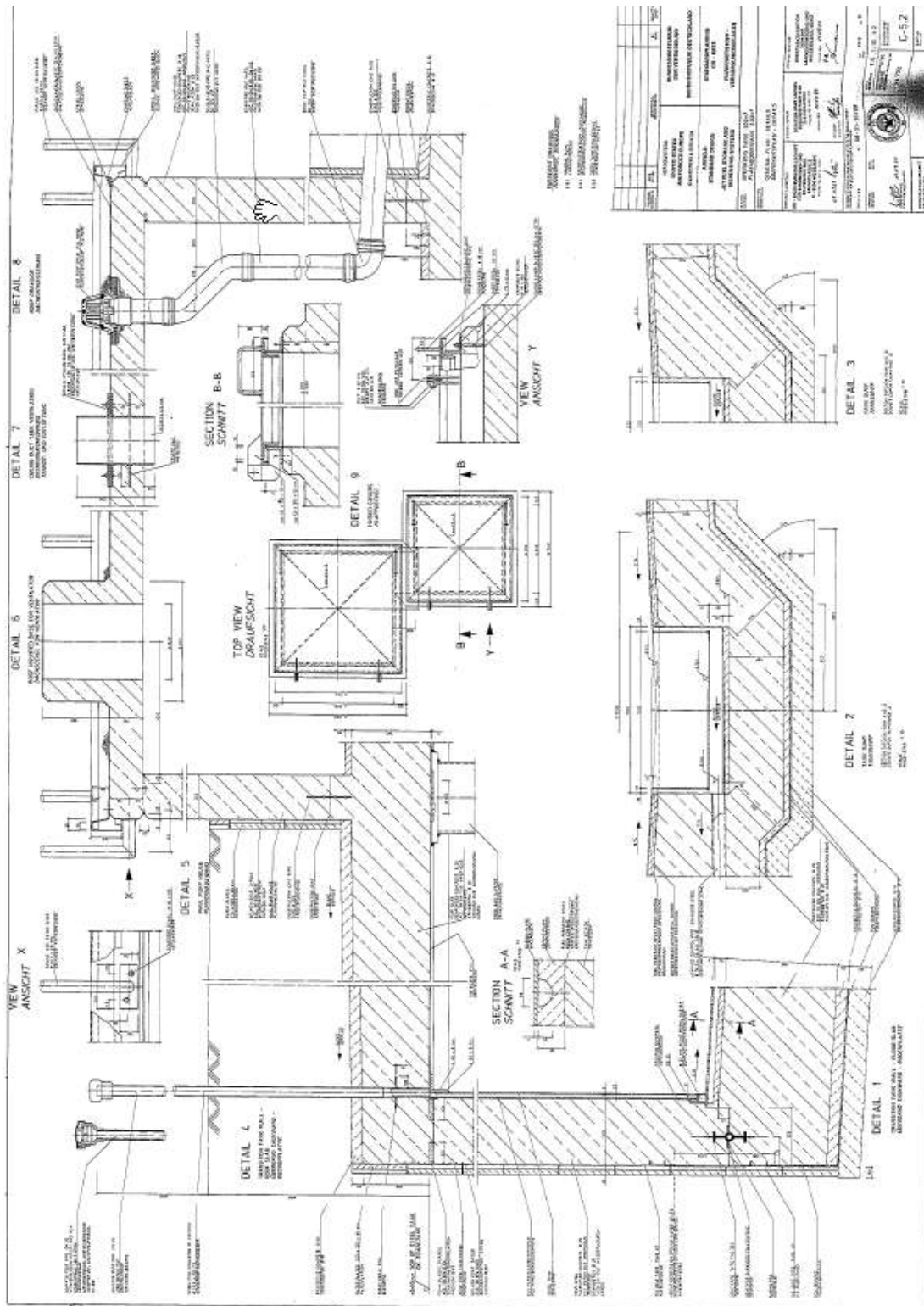
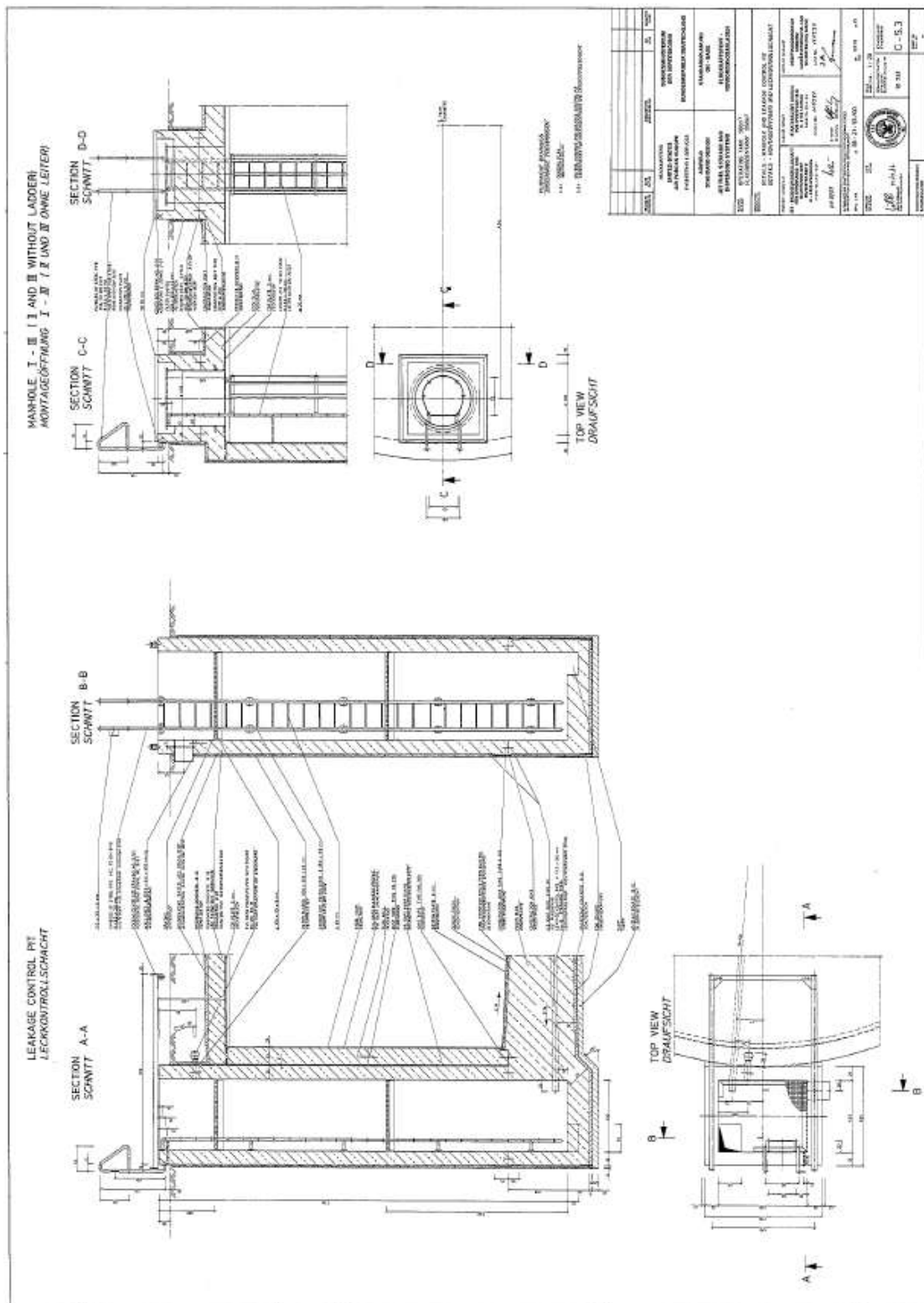



Figura 11 - Estação de filtragem e controlo.

Figura 10 - Topo do depósito enterrado.

Figura 9 - Fosso de controlo de fugas.

Figura 8 - Ded man, dispositivo de segurança.

Figura 7 - Pentógrafo.

Anexo E

Regulamentação

Decreto n.º 36 270, de 9 de Maio de 1947 – Regulamento de segurança das instalações para armazenamento e tratamento industrial de petróleos brutos, seus derivados e resíduos.

Título I – Generalidades.

Capítulo I – Classificação dos produtos a que o regulamento diz respeito.

Art. 1º – Os produtos a que este regulamento diz respeito classificam-se, segundo o ponto de vista de segurança das respectivas instalações, nas seguintes categorias:

…

2ª Categoria. – Produtos inflamáveis:

Todos os derivados do petróleo e similares cujo ponto de inflamação[18] esteja compreendido entre 25º C e 65º C como: petróleos para iluminação ou outros, white-spirits, etc.

…

Capítulo II – Classificação das instalações para armazenagem ou manipulação de petróleos brutos, seus derivados e resíduos.

Art. 4º – As instalações abrangidas por este regulamento classificam-se:

1º Quanto ao seu emprego, em:

- Reservatórios ou tanques. – Quando destinados a receber mercadoria a granel para fins de constituição de reservas, para consumo próprio, para transportes ou para vendas ao público ou a revendedores. Podem ser fixos, móveis (camiões-cisternas, vagões-cisternas, etc.) ou flutuantes.

…

3º Quanto à sua visibilidade (e consequentemente quanto à sua maior ou menor vulnerabilidade para os ataques aéreos ou de artilharia), em:

[18] O ponto de inflamação do JP-8 é 38º C.

- Superficiais. – (…).
- Subterrâneas. – Quando colocadas em cavidades naturais ou artificiais e ocultas, pela sua situação, à observação aérea.

….

Título II – Construção e funcionamento das instalações.

Capítulo I – Disposições gerais.

Art. 14º – As instalações de petróleos brutos, seus derivados e resíduos definem-se como um conjunto composto de um modo geral por:

…

b)Um ou mais parques de reservatórios superficiais ou subterrâneos;

…

Capítulo IX – Instalações subterrâneas.

Art. 40º – Na construção de instalações subterrâneas observar-se-ão as seguintes disposições:

1) Deverão ser invisíveis para um observador aéreo.
2) A sua localização não deverá ser traída por nenhum indício exterior (alteração da configuração do terreno, etc.).
3) As construções fazendo parte de uma instalação subterrânea e que for necessário efectuar à superfície do solo devem assemelhar-se, tanto quanto possível, às outras construções vizinhas.

Art. 41º – As instalações subterrâneas dividem-se em duas classes:

1) As que são constituídas por reservatórios enterrados, colocados numa escavação natural ou artificial, posteriormente tornada a encher de forma que não seja possível a existência de espaços vazios onde se possam acumular vapores susceptíveis de provocar misturas explosivas.
2) As que são constituídas por reservatórios dispostos em cavidades subterrâneas, naturais ou artificiais (fossas, cavernas, túneis, etc.) e onde existem espaços vazios entre as paredes dos reservatórios e as das cavidades em que aqueles se encontram instalados.

Art. 42º – São comuns às duas classes de instalações acima mencionadas as disposições seguintes:

1) Os reservatórios distantes menos de 15 metros uns dos outros são considerados como fazendo parte de um mesmo grupo de reservatórios.
2) Durante a sua construção e exploração serão obrigatoriamente tomadas todas as precauções necessárias para evitar a formação de misturas explosivas, corrosão de materiais, ataques pelas águas dos terrenos vizinhos, etc.
3) Todas as disposições aplicáveis à instalação de reservatórios superficiais são também aplicáveis a estas duas classes de instalações subterrâneas, em tudo o que não contrarie as disposições constantes deste capítulo.

…

I) Reservatórios enterrados.

…

Art. 44º – Os reservatórios enterrados serão submetidos, após a sua construção, aos seguintes ensaios:

1) Ensaio de resistência. – Será feito com água ou ar comprimido à pressão de, pelo menos, 1 quilograma por centímetro quadrado.
2) Ensaio de estanquicidade. – Será feito com água ou ar à pressão de 1 quilograma por centímetro quadrado.

…

Art. 46º – Os reservatórios enterrados deverão estar solidamente fixados no solo, de forma a que não possam flutuar em virtude da eventual impulsão das águas, nos casos em que tal acidente seja para considerar.

Art. 47º – Quanto aos acessórios dos reservatórios enterrados, observar-se-ão as disposições seguintes:

1) Todas as aberturas, além das de ventilação e de medição, deverão estar munidas de tubuladuras e órgãos de comando, de aço ou bronze.
2) Será obrigatória a existência sobre os reservatórios de um tubo estanque para evacuação dos vapores ali produzidos em serviço normal

ou durante o enchimento, bem como para a entrada de ar durante o esvaziamento. Nesse tubo será aplicado um dispositivo impedindo a propagação das chamas para o interior do reservatório.

3) O dispositivo de medição deverá ser instalado de forma a impedir a saída de gases para o exterior dos reservatórios. Exceptuando-se desta disposição os reservatórios de capacidade inferior a 10 000 litros.

…

Decreto n.º 29 034, de 1 de Outubro de 1938

Capítulo V – Dos depósitos.

Art. 16.º – As entidades singulares ou colectivas munidas de autorizações para construção ou exploração de depósitos têm de:

1. – ………
2. – Manter constantemente as instalações em perfeito estado de funcionamento;
3. – Empregar os meios necessários que lhes forem indicados para ocultar, mascarar e prever a segurança dos depósitos e instalações e a sua defesa em tempo de guerra;

…

Decreto-Lei n.º 267/2002, de 26 de Novembro

Capítulo I, Disposições gerais.

Art. 1.º – Objecto. (…) estabelece procedimentos e define as competências para efeitos de licenciamento de:

- Instalações de armazenamento de produtos do petróleo;
- Instalações de abastecimento de combustíveis líquidos e gasosos derivados do petróleo, (…).

Art. 3.º – Definições

- Combustíveis líquidos: gasolinas de aviação e (…), jet-fuel (…);

...

d) Instalações de abastecimento de combustíveis: (…). (…) incluem-se nesta

definição as instalações semelhantes destinadas ao abastecimento de (…) aeronaves;

e) Instalações de armazenamento de combustíveis: locais, incluindo os reservatórios e respectivos equipamentos auxiliares, destinados a conter produtos derivados do petróleo, líquidos ou liquefeitos;

…

Capítulo III, Segurança técnica das instalações

Art. 19.º – Inspecções periódicas.

1 – As instalações de armazenamento de derivados do petróleo e os postos de abastecimento são objecto de inspecção periódica, quinquenal, destinada a verificar a conformidade da instalação com as condições aprovadas no âmbito do licenciamento.

…

Portaria n.º 765/2002, de 1 de Julho.

Anexo – Regulamento de segurança relativo ao projecto, construção, exploração e manutenção de oleodutos de transporte de hidrocarbonetos líquidos e liquefeitos.

Capítulo I. – Disposições gerais.

Art. 1.º – Objecto. O presente (…) estabelece as condições aplicáveis ao projecto, construção, exploração e manutenção dos sistemas de tubagem destinados ao transporte de hidrocarbonetos líquidos e liquefeitos, adiante abreviadamente designados por oleodutos, tendo em vista garantir a segurança de pessoas e bens.

Art. 2.º – Âmbito.

…

2 – O presente regulamento não se aplica no interior de refinarias e de instalações de armazenamento ou outras que obedeçam a legislação específica, salvo o disposto no número seguinte.

…

Decreto-lei n.º 302/2001, de 23 de Novembro – regulamento de construção e exploração de postos de abastecimento de combustíveis (sem directivas para depósitos de combustíveis para aeronaves).

Anexo F

Formulários utilizados

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I   DRAFT   September 2005
APPENDIX C WORKBOOK   Page #1

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA **FORM A**

Bottom Small Leak Frequency (If Corrosion Rate is Known - Skip to Sheet 2)   Tank____

(Make copies of this form for each tank)

1.	*GIVEN*	External Base Corrosion Rate ($r_{ext\text{-}base}$) =	5 mpy	*(Ext. Base Rate)*
2.	*DETERMINE*	Soil Resistivity (MF_{res})=	1	*(Table A.2.2.6)*
3.	*DETERMINE*	Tank Pad Adjustment (MF_{TP})=	1	*(Table A.2.2.8)*
4.	*DETERMINE*	Tank Drainage Adjustment (MF_D)=	1	*(Table A.2.2.9)*
5.	*DETERMINE*	Cathodic Protection Adjustment (MF_{CP})=	0,66	*(Table A.2.2.10)*
6.	*DETERMINE*	Fluid Temperature Adjustment (MF_{FT})=	1	*(Table A.2.2.11)*
7.	*CALCULATE*	External Corrosion Rate ($r_{soil\ side}$)=	3,3	*(Equation A.6)*

Equation A.6

Calculation:
External Corrosion Rate ($r_{soil\ side}$)= 5 mpy * MF_{res} * MF_{TP} * MF_D * MF_{CP} * MF_{FT}

5 x 1 x 1 x 1 x 0,66 x 1 = 3,3

r_{ext} =

8.	*SELECT*	Internal Base Corrosion Rate ($r_{int\text{-}base}$)=	2	*WET Condition=5* *DRY Condition=2*
9.	*DETERMINE*	Internal Lining Adjustment (MF_{IL})=	1,5	*(Table A.2.2.14)*
10.	*DETERMINE*	Internal Lining Age Adjustment (MF_{LA})=	1	*(Table A.2.2.15)*
11.	*DETERMINE*	Fluid Temperature Adjustment (MF_{FT})=	1	*(Table A.2.2.11)*
12.	*DETERMINE*	Steam Coil Heater Adjustment (MF_{SC})=	1	*Present = 1.5* *NO = 1.0*
13.	*DETERMINE*	Water Draw Adjustment (MF_{WD})=	0,7	*Present = 0.7* *NO = 1.0*
14.	*CALCULATE*	Internal Corrosion Rate ($r_{top\ side}$)=	2,1	*Equation A.7*

Equation A.7

Calculation:
Internal Corrosion Rate ($r_{top\ side}$)= $r_{int\text{-}base}$ * MF_{IL} * MF_{LA} * MF_{FT} * MF_{SC} * MF_{WD}

2 x 1,5 x 1 x 1 x 1 x 0,7 = 2,1

r_{int} =

Table A.2.2.14: Internal Lining Adjustment	
Is internal lining needed for corrosion protection?	AF
YES (but no internal lining or unknown)	1.75
YES (internal lining applied, but not per API 652)	1.15
YES (internal lining applied per API 652)	0.5
NO (and no lining applied)	1
NO (internal lining applied anyway but not per API 652)	0.9
NO (but internal lining applied per API 652)	0.8

Facility ____________
Completed By ____________

Table A.2.2.6: Natural Soil Resistivity Adjustment		
Resistivity (ohm-cm)	Potential Corrosion Activity	AF
<500	Very Corrosive	1.5
500 – 1000	Corrosive	1.25
1000 – 2000	Moderately Corrosive	1
2000 – 10000	Mildly Corrosive	0.83
>10000	Progressively Less Corrosive	0.66
Tank with RPB		1

Table A.2.2.8: Tank Pad Adjustment Factors	
Type	AF
Soils with high concentrations of salts	1.5
Crushed limestone	1.4
Native soil	1.3
Construction grade sand	1.15
Continuous asphalt	1
Continuous concrete	1
Oil sand	0.7
High resistivity, low chloride sand	0.7

Table A.2.2.9: Tank Drainage Adjustment	
Type of Drainage	AF
More than one-third of the bottom edge of the tank is frequently under water	3
Storm water usually collects around the base of the tank	2
Storm water does not usually collect around the base of the tank	1

Table A.2.2.10: Adjustment for Cathodic Protection	
Functional Cathodic Protection in Place?	AF
NO	1
YES (not per API 651)	0.66
YES (installed and maintained per API 651)	0.33

Table A.2.2.11: Adjustment for Fluid Temperature	
Bulk Fluid Temperature (°F)	AF
≤ 75	1
76 – 150	1.1
151 – 200	1.3
201 – 250	1.4
>250	1

Table A.2.2.15: Lining Age Adjustment	
Lining Application and Age	AF
Lining applied per API 652	
> 20 years – limited or no data to assess lining condition	2.5
> 20 years – data to demonstrate that lining is in good condition	1
10 – 20 years	1
< 10 years	0.66
Lining not applied per API 652	
> 10 years – limited or no data to assess lining condition	1.5
> 10 years – data to demonstrate that lining is in good condition	1
5 – 10 years	1
< 5 years	0.87

Date____________
Page ____of____

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT
APPENDIX C WORKBOOK

September 2005
Page #2

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM A

Bottom Leak Frequency (Con't)

(Make as many copies as required for each tank)

Tank________

NOTE 1: If the corrosion rate is known enter it in Item 15 below. If the corrosion rate is unknown then use results from Item 7 and 14 from the previous page with the following guidance. If Internal Corrosion is widespread, then the External (Item 7) and Internal Corrosion (Item 14) Rates are additive. If Internal Corrosion is localized (pitting) then use the greater of the two corrosion values (either Internal or External)

15.	DETERMINE	The Total Corrosion Rate (r)=	3,3	Note 1
16.	DETERMINE	Age of Equipment (a)=	16	Years
17.	DETERMINE	Original Thickness of Tank Bottom (t)=	320	Mils
18.	DETERMINE	Inspection Rating=	E	Table A.2.2.2
19.	GIVEN	AST Bottom Small Leak Frequency	$7.2x10^{-3}$	Leaks/yr/Tank
20.	CALCULATE	"ar/t" value=	0,165	Equation A.4

Equation A.4

Calculation:

$$\text{"ar/t" value} = \frac{a * r}{t}$$

(3,3 x 16) / 320 = 0,165

"ar/t" value =

21.	DETERMINE	Modifying Factor ($MF_{a/t}$)=	0,0564	Table A.2.2.3
22.	CALCULATE	Bottom Leak Frequency (Tank Specific)	$4,061 \times 10^{-4}$	Equation A.5

Equation A.5

Calculation:

Bottom Leak Frequency = $7.2x10^{-3}$ leaks/yr/tank * $MF_{a/t}$

$7,2 \times 10^{-3} \times 0,0564 = 4,061 \times 10^{-4}$

Bottom Leak Frequency= $4,061 \times 10^{-4}$ (Enter Result on Form 1)

Table A.2.2.2: Guidelines for Assigning Inspection Ratings – Tank Bottom

Inspection Rating Category	Soil Side	Top Side
A	• Floor scan 90+% & UT follow-up	• Commercial blast • Effective supplementary light • Visual 100% (API 653) • Pit depth gauge • 100% vacuum box test or tracer gas test
B	• Partial floor scan & UT follow-up OR • EVA or other statistical method with floor scan follow-up if warranted by the results	• Brush blast • Effective supplementary light • Visual 100% (API 653) • Pit depth gauge
C	• Floor scan 5-10% plates, supplement with scanning near shell & UT follow-up • Progressively increase if damage found during scanning • Hammer test	• Broom swept • Effective supplementary light • Visual 100% • Pit depth gauge
D	• Spot UT • Hammer test	• Broom swept • No effective supplementary lighting • Visual 25-50%
E	None	None

Table A.2.2.3: Tank Bottom Modifying Factors

	Inspection Rating				
ar/t	E	D	C	B	A
0.15	0.0210	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001
0.20	0.139	0.005	0.0002	0.0001	0.0001
0.25	0.521	0.011	0.0032	0.0001	0.0001
0.30	1.405	0.190	0.025	0.001	0.0001
0.35	3.05	0.62	0.12	0.01	0.0002
0.40	5.71	1.58	0.41	0.05	0.003
0.45	9.39	3.39	1.14	0.22	0.02
0.50	14.83	6.40	2.64	0.72	0.11
0.55	21.30	10.95	5.34	1.92	0.42
0.60	29.64	17.29	9.71	4.34	1.33
0.65	39.23	25.64	16.19	8.67	3.47
0.70	50.2	36.1	25.2	15.6	7.8
0.75	62.5	48.6	37.0	26.0	15.5
0.80	75.9	63.1	51.7	40.2	27.9
0.85	90.4	79.8	69.4	58.6	45.9
0.90	106	98	90	81	70
0.95	122	118	113	108	102
1.00	139	139	139	139	139

Facility ______________
Completed By ______________

Date__________
Page ____of____

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT September 2005
APPENDIX C WORKBOOK Page #3

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA — FORM B

Rapid Bottom Leak Frequency
(Make copies of this form for each tank)

Tank ____________

1. *GIVEN* Rapid Bottom Failure Base Frequency = $2.0 * 10^{-5}$ /year *(Base Freq.)*
2. *DETERMINE* Tank Design and Maintenance Adjustment (MF_{Design})= 5 *Table A.2.2.18*
3. *DETERMINE* Corrosion Adjustment ($MF_{Corrosion}$)= 0,2 *Equation C-1*

Equation C-1

Calculation: Find the MF $_{a/t}$ value from Item 20 on Page 2. The MF $_{Corrosion}$ is the MF $_{a/t}$ value divided by 20 with a minimum value of 0.2, so:

Corrosion Adjustment ($MF_{Corrosion}$)= $\frac{MF_{ar/t}}{20} \geq 0.2$

0,0564 / 20 = 0,00282 ⇒ 0,2

$MF_{Corrosion}$ =

4. *DETERMINE* Tank Settlement MF ($MF_{Settlement}$)= 1,5 *Table A.2.2.19*
9. *CALCULATE* Rapid Bottom Failure Frequency= 3×10^{-5} *Equation A.8*

Equation A.8

Calculation:
Rapid Bottom Leak Frequency= $2.0*10^{-5}$ * MF_{Design} * $MF_{Corrosion}$ * $MF_{Settlement}$

$2,0 \times 10^{-5} \times 5 \times 0,2 \times 1,5 = 3 \times 10^{-5}$

Rapid Bottom Leak Frequency= 3×10^{-5} (Enter Result on Form 1)

Table A.2.2.18: Modifying Factor for Tank Design and Maintenance

Is the tank designed according to a recognized industry standard and maintained according to API 653?	Modifying Factor
NO	5
YES	1

Table A.2.2.19: Modifying Factor for Tank Settlement

API 653 Settlement Inspection?	Settlement Found?	
	Yes	No
Yes	2	1
No	1.5	

Facility ____________
Completed By ____________

Date ________
Page ___ of ___

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT
APPENDIX C WORKBOOK

September 2005
Page #4

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM C

Tank Shell Leak Frequency (If Corrosion Rate is Known Skip to Sheet 5
(Make copies of this form for each tank)

Tank____

1.	SELECT	Internal Base Corrosion Rate ($r_{int\text{-}base}$) =	2 mpy	DRY Condition =2 WET Condition =5
2.	DETERMINE	Internal Lining Adjustment (AF_{Lining})=	1,15	(Table A.2.3.7)
3.	DETERMINE	Internal Lining Age Adjustment (AF_{Age})=	1	(Table A.2.3.8) 1 if no lining
4.	CALCULATE	Internal Corrosion Rate Adjustment (r_{int})=	2,3	Equation A.7

Equation A.7

Calculation:
Internal Corrosion Rate (r_{int})= $r_{int\text{-}base}$ * AF_{Lining} * AF_{Age}

2 x 1,15 x 1 = 2,3

r_{int} =

5.	SELECT	External Base Corrosion Rate ($r_{ext\text{-}base}$)=	1	(Table A.2.3.9)
6.	CALCULATE	External Coating Adjustment ($AF_{Coating}$)=	0,375	Equation A.11

Equation A.11

Calculation:

$$\text{External Coating } (AF_{Coating}) = \frac{\#YearsTankUnprotected}{TankAge}$$

Unprotected means:
1. Low Quality / No Coating
2. A Medium Quality Coating > 5yrs
3. A High Quality Coating > 10yrs

6 / 16 = 0, 375

$AF_{Coating}$ =

7.	CALCULATE	External Corrosion Rate (r_{ext})=	0,375	Equation A.12

Equation A.12

Calculation:
External Corrosion Rate (r_{ext})= $r_{ext\text{-}base}$ * $AF_{Coating}$

1 x 0,375 = 0,375

r_{ext} =

Facility ________
Completed By ________

Table A.2.3.7: Internal Lining Adjustment	
Is internal lining needed for corrosion protection?	AF
YES (but no internal lining or unknown)	1.75
YES (internal lining applied, but not per API 652)	1.15
YES (internal lining applied per API 652)	0.5
NO (and no lining applied)	1
NO (internal lining applied anyway but not per API 652)	0.9
NO (but internal lining applied per API 652)	0.8

Table A.2.3.8: Lining Age Adjustment	
Lining Application and Age	AF
Lining applied per API 652	
> 20 years – limited or no data to assess lining condition	2.5
> 20 years – data to demonstrate that lining is in good condition	1
10 – 20 years	1
< 10 years	0.66
Lining not applied per API 652	
> 10 years – limited or no data to assess lining condition	1.5
> 10 years – data to demonstrate that lining is in good condition	1
5 – 10 years	1
< 5 years	0.87

Table A.2.3.9: Base Corrosion Rates for Shell External Corrosion			
	Climate		
Bulk Fluid Temp. (°F)	Marine or Cooling Tower Drift Area	Temperate	Arid / Dry
121 – 200	5 mpy	2 mpy	1 mpy
61 – 120	3 mpy	1 mpy	0 mpy
31 – 60	5 mpy	3 mpy	1 mpy
≤ 10	0 mpy	0 mpy	0 mpy

Table A.2.3.10: Adjustment of Quality Coating	
Coating Quality	Adjustment
High	Assume that no corrosion occurs during the first ten years after coating application
Medium	Assume that no corrosion occurs during the first five years after coating application
Low/None	No credit given

Date ________
Page ____ of ____

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT September 2005
APPENDIX C WORKBOOK Page #5

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA | FORM C

Tank Shell Leak Frequency (Con't) (Make as many copies of this form as required)

Note 1: If the corrosion rate is know enter it in Item 8 below. If the corrosion rate is unknown then use the results from Item 4 and 7 from the previous page with the following guidance. If the internal corrosion is believed to be wide spread then the external and internal corrosion rates area added together. If the internal corrosion is believed to be localized (pitting) then use the greater of the two corrosion values (either Internal or External corrosion rate)

Tank ____

8.	*SELECT*	Corrosion Rate (r) =	2,3 mpy	*See NOTE 1*
9.	*DETERMINE*	Age of Tank Shell (a)=	16	*Years*
10.	*DETERMINE*	Original Thickness of Tank Shell (t)=	320	*Mils*
11.	*CALCULATE*	"ar/t" Value (ar/t) =	0,115	*Equation A.9*

Equation A.9

Calculation:

"ar/t" value= $\frac{a * r}{t}$

(2,3 x 16) / 320 = 0,115

"ar/t" =

Table A.2.3.3: Guidelines for Assigning Inspection Ratings – Tank Shell	
Inspection Rating Category	Inspection
A	Intensive inspection – good visuals with pit depth gage measurements at suspect locations
B	External spot/scanning UT based on visual information from previous internal inspection of this tank or similar service tanks
C	External spot/scanning UT at susceptible locations without benefit of any internal inspection information on tank type/service
D	External spot UT at susceptible locations without benefit of any internal inspection information on tank type/service
E	No inspection

12.	*DETERMINE*	Inspection Rating =	D	*(Table A.2.3.3)*
12.	*DETERMINE*	# of Inspections	3D	*(# of each type of inspection i.e 2-A's)*
12.	*DETERMINE*	Ar/t Modifying Factor ($MF_{ar/t}$)=	0,02967	*(Table A.2.3.4) *found on page 6**
13.	*SELECT*	Base Leak Frequency (BLF)=	0,0001	*(Table A.2.3.1)*
14.	*CALCULATE*	Tank Shell Leak Frequency (SLF)=	$3,967 \times 10^{-6}$	*Equation A.10*

Table A.2.3.1: Base Leak Frequencies for Tank Shell	
Hole Sizes	Frequency (per year)
Small (Welded) Shell Leak	1.0×10^{-4}
Small (Riveted) Shell Leaks	1.0×10^{-3}

Table A.2.3.11: Base Leak Frequencies for Tank Rapid Shell Failures	
Rapid Shell Failure – Tank is not maintained to API 653	4.0×10^{-6}
Rapid Shell Failure – Tank is maintained to API 653	1.0×10^{-7}

Equation A.10

Calculation:

Tank Shell Leak Frequency (SLF)= Base Leak Freq. * MR $_{ar/t}$

$0,0001 \times 0,02967 = 3,967^{-6}$

Tank Shell Leak Frequency= $3,967^{-6}$ (Enter Result on Form 1)

14.	*SELECT*	Tank Rapid Shell Failure Frequency (RSF) =	4×10^{-6}	*(Table 2.3.11)*

Facility ____________
Completed By ____________

Date ____________
Page ____ of ____

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT September 2005
APPENDIX C WORKBOOK Page #6

Table A.2.3.4: Tank Shell Modifying Factors

	Number of Inspections																
	0	1				2				3				4			
art	E	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A
0.05	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
0.10	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
0.15	0.314	0.240	0.165	0.0730	0.0202	0.180	0.0785	0.0121	0.0008	0.132	0.0348	0.0018	0.0001	0.0958	0.0148	0.0003	0.0001
0.20	177	135	92.9	41.1	11.3	101	44.1	6.82	0.435	74.4	19.6	1.01	0.0155	53.9	8.31	0.146	0.0005
0.25	2000	1530	1053	465	128	1146	500	77.2	4.92	843	222	11.5	0.176	610	94.1	1.66	0.0062
0.30	2000	1530	1053	465	129	1146	500	77.3	4.94	843	222	11.5	0.178	610	94.2	1.67	0.0066
0.35	2031	1559	1077	479	136	1172	517	82.0	6.13	866	233	12.9	0.349	631	101	2.07	0.0307
0.40	2265	1777	1262	588	197	1372	649	118	15.3	1046	321	23.7	1.66	790	157	5.17	0.217
0.45	2822	2298	1702	848	340	1849	962	204	37.3	1475	529	49.3	4.79	1170	290	12.6	0.659
0.50	5000	4334	3421	1860	899	3713	2188	541	123	3150	1343.5	149	17.0	2652	809	41.5	2.39
0.55	5000	4334	3421	1861	899	3713	2188	541	123	3150	1343.5	149	17.1	2652	809	41.5	2.44
0.60	5001	4335	3422	1862	901	3714	2189	542	125	3151	1344.8	151	18.6	2654	810	43.0	3.96
0.65	5009	4344	3433	1875	916	3725	2202	558	141	3163	1359.1	167	35.0	2666	825	59.4	20.4
0.70	5051	4392	3489	1944	993	3778	2268	638	224	3221	1432.3	250	119	2728	903	144	105
0.75	5179	4537	3657	2152	1225	3938	2467	879	477	3395	1653.3	502	374	2915	1138	398	360
0.80	5441	4835	4002	2579	1703	4268	2877	1376	995	3755	2108	1019	898	3301	1620	921	885
0.85	5850	5298	4540	3245	2447	4782	3516	2149	1803	4315	2816	1825	1715	3902	2372	1735	1703
0.90	6370	5887	5224	4091	3393	5436	4329	3133	2830	5028	3716	2849	2753	4666	3328	2771	2742
0.95	6940	6533	5974	5019	4431	6153	5219	4211	3935	5808	4702	3972	3891	5503	4375	3906	3882
1.00	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

A, B, C, and *D* refer to the inspection rating category. *E* indicates that there have been no inspections.

Note: a value of "0" in the table indicates that the actual value is less than 0.0001.

Facility ____________ Date ____________
Completed By ____________ Page ___of___

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT SEPTEMBER 2005
APPENDIX C WORKBOOK 21

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM I

Tank Truck Overfill Frequency

(Make as many copies as required)

LR __

***If the facility has several different types and styles of tank truck loading (e.g. different loading racks, differing automation, top loading vs. bottom loading, etc.). The reviewer may elect to analyze several different tank truck overfill operations, one representative operation, the most active operation or the perceived highest risk operation (risk to the environment). Make as many copies of this form as is necessary to complete the information required, use the figures and tables to the right to complete the form. If multiple loading types, styles, and automation exist at the facility, it is recommended that the analysis should be performed on higher risk operation such as high volume, low automation, and high environmental risk loading areas.*

Loading Rack: ______________________

Tank Truck Loading Description: ______________________

Table A.2.7.4: Adjustment for Quality of Operations	
Type of Fill Operation	MF
Loading operation in accordance with API RP 1004 (for MC-306 tank trucks only)	1
All others	2

Table A.2.7.5: Adjustment for Control Systems	
Type of Fill Operation	MF
None	100
Primary control system (e.g. a preset loading meter and a control valve)	10
Primary plus secondary control systems (e.g. level sensor which activates automatic shutoff)	1

1.	*DETERMINE*	Base Probability of Tank Overfill Frequency ($F_{TO-Base}$)=	$1.0 * 10^{-5}$ / fill	*Standard*
2.	*DETERMINE*	How Many Total Fills Per Year are Completed at this Point	280	*(Each)*
3.	*DETERMINE*	Quality of Operations ($MF_{Quality}$)=	2	*(Table A.2.7.4)*
4.	*DETERMINE*	Control Systems ($MF_{Control}$)=	10	*(Table A.2.7.5)*
5.	*DETERMINE*	Tank Truck Overfill Frequency (F_{TO})=	$5,6 \times 10^{-2}$	*Equation A.27*

Equation A.27

Calculation:
Tank Truck Overfill Frequency (F_{TO}) = $1.0 * 10^{-5}$ * #fills / year * $MF_{Quality}$ * $MF_{control}$

$$1,0 \times 10^{-5} \times 280 \times 2 \times 10 = 5,6 \times 10^{-2}$$

Tank Truck Overfill Frequency= (Enter Result on Form 1)

Facility ______________
Completed By __________

Date
Page _ of _

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT
APPENDIX A

January 2006
Page 1 of #

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM K

Environmental Consequence of Failure (ECoF) Model
Make as many copies as needed to accommodate for all Tanks.

1.	Product Type	Score
a	Heavy Oil (heavy crudes, #6 FO, asphalt and motor oil)	0.5
b	Medium Oil (Most crudes)	0.75
c	Light Oil (diesel, #2, light crudes)	1
d	Very Light Oil (Gasoline and jet fuels)	1.5

2.	Anticipated Volume of Released Liquid Petroleum	Score
a	< 25 bbl (~ 1,000 gal)	1
b	25 bbl to 250 bbl	5
c	251 bbl to 2,500 bbl	10
d	2,501 bbl to 25,000 bbl	45
e	> 25,000 bbl	90

3.	Primary Area Impacted by Release	Score
a	Release contained in an impermeable diked area	1
b	Release Impacts Onsite Soils only	5
c	Release Impacts Offsite Soils	25
d	Release Impacts Subsurface soils	40
e	Release Impacts Groundwater	60
f	Release Impacts Surface Waters	50
g	Release Impacts Drinking Waters (surface or groundwater)	100

4.	Surrounding Ecology Sensitivity (Site Conditions)	Score
a	Not an ecologically sensitive area	1
b	Close Proximity to Aquatic Habitats or Regulated Wetlands	25
c	Sensitive Biological, Species or Ecologic receptors	50
d	Unusually Sensitive Biological Species	100

FACILITY ____________________ DATE ____________
COMPLETED BY ________________ PAGE ______ OF ______

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I   DRAFT   January 2006
APPENDIX A   Page 2 of #

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA | FORM K

Environmental Consequence of Failure (ECoF) Model (Cont'd)

Make as many copies as needed to accommodate for all Tanks.

5	Pathway Assessment to Sensitive Ecology	Score
a	Unlikely, Limited or negligible impact to Surrounding Ecology	0.5
b	Likely Impact to Surrounding Ecology	(2.0)

6	Environmental Regulatory Atmostphere	Score
a	Efficient, Timely & Pragmatic Regulatory Environment	0.5
b	Moderate Regulatory Environment	(1.0)
c	Strict Proscriptive Regulatory and Enforcement Action	2.0

7	Duration of Environmental Impact (Ecology or Surrounding Offsite Environment)	Score
a	No or Negligible Impact (less than 1 week)	0.5
b	Short Term Impact up to 1 Month	(1.0)
c	Moderate Impact up to 1 Year	5
d	Long Term Impact > 1 Year	10

8.	Response Plans & Response Effectiveness	Score
a	Written Spill Response Plan, Drills & OSRO in Place with ability to perform a rapid effective response to the incident	(1)
b	No Response Plan in place or Response Contingency Plan of limited effectiveness due to the nature of the incident	1.5

Equation

ECoF score (I) = Q1 Product x Q2 Volume x (Q3 Media + Q4 Ecology x Q4 Pathway) x Q6 Regulatory x Q7 Duration x Q8 Response

1,5 x 90 x (5 + 1 x 2) x 1 x 1 x 1 = 945

FACILITY ____________________   DATE __________
COMPLETED BY ________________   PAGE ______ OF ______

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT January 2006
APPENDIX C Page 1 of #

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM L

Population Consequence of Failure (PCoF) Model

Make as many copies as needed to accommodate for all Tanks.

1.	Ancicipated Volume of Released Liquid Petroleum	Score
a	< 25 bbl (~ 1,000 gal)	1
b	25 bbl to 250 bbl	5
c	251 bbl to 2,500 bbl	10
d	2,501 bbl to 25,000 bbl	45
e	> 25,000 bbl	90

2.	Stored Product Flammabilit / Combustibility	Score
a	Combustible Liquids including motor oils, lubricatnts, hydraulic oils	0.5
b	Combustible Liquids including #2, #1, Kero, Diesel, Jet A, JP-8	1
c	Flommable Liquids including most Crude Oils	5
d	Flammable Liquids including Gasoline All Grades, Ethanol	10

3.	Fire Response Capabilities (Fire Suppression or Spill Despersant Capabilities)	Score
a	Fixed Fire Suppression Systems in Place on Flammable Loading Area and Flammable Storage Tanks	0.2
b	Local or Portable Fire Suppression Systems Available for Flammable and Combustible Liquids	1.0
c	No local or Sufficient Portable Fire Fighting or Spill Dispersant Capabilities on no site. Local Response available but response anticipated to be greater than 30 minutes.	2.0

4.	Health & Safety Impact to Personnel, Contractors or the Public:	Score
a	No Injury or Near Miss	1
b	Minor Injury	15
c	Serious Injury or Fatability	100

FACILITY ____________________ DATE __________
COMPLETED BY ____________________ PAGE ______ OF ______

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT January 2006
APPENDIX C Page 2 of 8

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM L

Population Consequence of Failure (PCoF) Model (Cont'd)

Make as many copies as needed to accommodate for all Tanks.

5	Dispersion of Released Product (Area of Impact)	Score
a	Release contained in an impermeable diked area	1
b	Release Contained Onsite	(5)
c	Release Impacts Offsite Property	25
d	Release Impacts Recreational Surface Waters	50
e	Release Impacts Drinking Waters (surface or groundwater)	100

6	Surrounding Community Impact Duration	Score
a	No or Negligible Communicty Impact	1
b	Short Term Community Impact up to 1 Week	(2)
c	Medium Term Commkunity Impact up to 1 Month	5
d	Long Term Comkunity Impact > 1 Month	14

7	Adjacent Human Use / Population Sensitive Areas	Score
a	Limited or Negligible Human Use in the Affected Area	(0.5)
b	Light Commercial / Industrial	1.0
c	School, Hospital, Stadium, Church, Residential Area, Heavy Commercial in the Affected Area	2.5
d	Historial, Recreational, Transportation or Water Resource Sensitive Area	5

8.	Response Plans & Response Effectiveness	Score
a	Written Spill Response Plan, Drills & OSRO in Place with ability to perform a rapid effective response to the incident	(1)
b	No Response Plan in place or Response Contingency Plan of limited effectiveness due to the nature of the incident	1.5

Equation

PCoF score (I) = Q1 Quantity Released x (Q2 Product Type x Q3 Response Capabilities x Q4 Health/Safety x Q5 Dispersion of Product x Q6 Community Impacts x Q7 Human Use) x Q8 Response Plans

90 x (1 x 1 x 15 x 5 x 2 x 0,5) x 1 = 1800

FACILITY ______________________
COMPLETED BY ______________________

DATE ______________
PAGE ______ OF ______

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I DRAFT JANUARY 2005
APPENDIX C Page 1 of #

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM M

Business Consequence of Failure (BCoF) Model

Make as many copies as needed to accommodate for all Tanks.

1.	Estimated Cost of Loss	Score
a	< $10,000	1
b	$10,000 to $100,000	(5)
c	$100,000 to $1,000,000	10
d	$1,000,000 to $10,000,000	25
e	> $10,000,000	49

2.	Impacted on Facility Operation	Score
a	No Facility or Equipment loss of service	0.1
b	Equipment Out of Service for < 1 month	1
c	Equipment Out of Services for > 1 month	(1.5)
d	Facility out of Service for < 1 month	2.5
e	Effectively Shuts Down Facility Operation for > 1 month	5

3.	Effect on Company Reputation or Standing in Community	Score
a	NO or Minimal Public Complaint	1
b	Local Public Complaints Only	(1.5)
c	Significant Local and Some Regional Public Complaints	2.5
d	Wide Spread National or Regional Public Complaints	5

4.	Regulatory Involvement as a Result of the LSR	Score
a	No Regulatory Involvement	0.5
b	Local Regulatory oversight Only	1
c	Local and State Regulatory Involvement with Cleanup, Inspection or Startup of the Facility after the incident	(2.5)
d	Will Most Likely Lead to Additional Enforcement on Other Facilities or to the Industry as a whole	5

FACILITY ______________ DATE ______________
COMPLETED BY ______________ PAGE ______ OF ______

COMPREHENSIVE RISK ASSESSMENT METHOD I   DRAFT   JANUARY 2005
APPENDIX C   Page 2 of #

AST PETROLEUM TERMINAL SITE DATA FORM L

Business Consequence of Failure (BCoF) Model (Cont'd)
Make as many copies as needed to accommodate for all Tanks.

5	Loss of Business	Score
a	No Loss of Business	(1)
b	Results in Short Term Loss of Business (<1 month)	1.5
c	Results in Long Term Loss of Business (1 to 12 month)	2
d	Results in Nearly Permanent Loss of Business (>1 year)	5

6	Media Coverage	Score
a	No Media Coverage, Local Officials & Response Personnel Only	1
b	Local Media Coverage Only	(1.5)
c	Significant Local and Some National Coverage of Event	5
d	Extended Local and National Coverage of Event	8

7	Effect on Property	Score
a	No Change in Property or Equipment Value	(1)
b	Some Diminishment of the Property and Equipement	1.5
c	Will Significantly Diminish the Value of the Facility	2

8.	Insurability and Coverage	Score
a	No Affect on Insurance	1
b	Event Fully Insured But Claim Will Affect Company Rating	1.5
c	Event has Insurable Portions but Will Affect Futures Costs & Coverage	2
d	Self Insured Up to Event Costs	(2.5)

Equation

BCoF score (i) = Q1 Cost of Loss x Q2 Impact on Operation x Q3 Community Reputation x Q4 Regulatory Involvement x Q5 Loss of Business x Q6 Media Coverage x Q7 Effect on Property x Q8 Insurability

5 x 1,5 x 1,5 x 2,5 x 1 x 1,5 x 1 x 2,5 = 105,47

FACILITY ____________   DATE ________
COMPLETED BY ____________   PAGE ____ OF ____